

**GESTIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA MEDIANTE MODELOS  
BIPARTITOS PARA UNA ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA EN  
USUARIOS RESIDENCIALES**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
GESTIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA MEDIANTE MODELOS  
BIPARTITOS PARA UNA ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA EN  
USUARIOS RESIDENCIALES**

**AUTOR:  
JONATHAN DAVID CAMPOVERDE GANCHALA**

**DIRECTOR:  
EDWIN MARCELO GARCÍA TORRES**

**Quito, enero 2020**



Jonathan David Campoverde Ganchala

**GESTIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA MEDIANTE MODELOS BIPARTITOS PARA UNA ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA EN USUARIOS RESIDENCIALES**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2020

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



**Jonathan David Campoverde Ganchala** (Y'1994).

Estudiante de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Áreas de interés: Generación distribuida, respuesta a la demanda, micro-redes, energía renovable, sistemas de automatización. [jcampoverdeg4@est.ups.edu.ec](mailto:jcampoverdeg4@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Edwin Marcelo García Torres** (Y'1978).

Se graduó en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana y de Master en Gestión de Energía. Actualmente se encuentra trabajando para su doctorado en Ingeniería con la Universidad Pontificia Bolivariana. Área de interés: respuesta a la demanda, sistemas de gestión de la energía, micro-redes inteligentes. Actualmente es miembro del Girei (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - Smart Grid Research Group). [egarcia@ups.edu.ec](mailto:egarcia@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**


©2020 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Edwin Marcelo García Torres declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*GESTIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA MEDIANTE MODELOS BIPARTITOS PARA UNA ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA EN USUARIOS RESIDENCIALES*” realizado por Jonathan David Campoverde Ganchala, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito D.M., enero de 2020



Edwin Marcelo García Torres

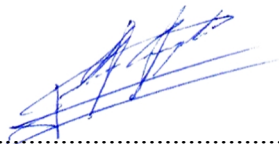
C.C.: 180308740-0

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Jonathan David Campoverde Ganchala, con documento de identificación N° 1721787594, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “*GESTIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA MEDIANTE MODELOS BIPARTITOS PARA UNA ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA EN USUARIOS RESIDENCIALES*”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito D.M., enero de 2020



.....

Jonathan David Campoverde Ganchala

C.C.: 1721787594

## INDICE GENERAL

Resumen .....	1
Abstract .....	1
1. Introducción .....	2
2. Marco Teórico .....	5
2.1 Energía eólica .....	5
2.2 Energía fotovoltaica .....	6
2.3 Baterías .....	8
2.3.1 Capacidad .....	8
2.3.2 Capacidad nominal .....	8
2.3.3 Capacidad real .....	8
2.3.4 Capacidad retenida .....	8
2.3.5 Capacidad disponible .....	8
2.3.6 Profundidad de descarga .....	8
2.3.7 Índice C .....	8
2.3.8 Autodescarga .....	8
2.3.9 Carga lenta .....	8
2.3.10 Carga rápida .....	8
2.4 CHP .....	9
2.5 Micro-Red .....	11
2.6 Asignación de Recursos .....	11
2.7 Método de resolución de red Simplex .....	11
2.8 Grafo .....	13
2.9 Grafo Bipartito .....	13
2.10 Modelamiento del método de resolución de red Simplex .....	14
2.11 Pseudocódigo método de resolución de red Simplex para asignación de recursos .....	14
2.12 Respuesta a la demanda .....	16
2.13 Pseudocódigo de respuesta a la demanda .....	17
2.14 Internet de las cosas .....	17
3. Problema .....	17
4. Casos de estudio .....	18
4.1 Análisis con mercado .....	19



4.2	Análisis sin mercado .....	19
4.3	Curva típica de la demanda diaria .....	19
4.4	Análisis con respuesta a la demanda .....	19
5.	Análisis de resultados .....	19
5.1	Escenario I.....	19
5.2	Escenario II .....	20
5.3	Escenario III .....	20
5.4	Escenario IV .....	21
5.5	Escenario V .....	21
6.	Conclusiones.....	23
7.	Trabajos Futuros .....	23
8.	Referencias .....	23
	Estado del Arte .....	29

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de Micro-red .....	11
Figura 2.	Diagrama de Flujo, Método de Resolución de Simplex .....	13
Figura 3.	Funcionamiento de método de resolución de red Simplex .....	13
Figura 4.	Grafo Bipartito Completo .....	13
Figura 5.	Grafo Bipartito Completo, Planteamiento .....	14
Figura 6.	Grafo Bipartito Aumentando Nodos, red de flujo .....	15
Figura 7.	Solución de asignación de recursos .....	15
Figura 8.	Solución de asignación de recursos, grafo bipartito .....	15
Figura 9.	Recursos disponibles en un día .....	18
Figura 10.	Concentración de recursos en un día .....	18
Figura 11.	Mapa de calor de una concentración de recursos disponibles en un día .....	18
Figura 12.	Aplicación de Respuesta a la Demanda desde 5% al 20% .....	19
Figura 13.	Asignación de recursos en base a Respuesta a la Demanda al 5%.....	20
Figura 14.	Presencia de los Diferentes Tipos de Generación, Respuesta a la Demanda 5%. .....	20
Figura 15.	Asignación de recursos en base a Respuesta a la Demanda al 10%.....	20
Figura 16.	Presencia de los Diferentes Tipos de Generación, Respuesta a la Demanda 10%.....	21

Figura 17. Asignación de recursos en base a Respuesta a la Demanda al 15%.....	21
Figura 18. Presencia de los Diferentes Tipos de Generación, Respuesta a la Demanda 15%.....	21
Figura 19. Asignación de recursos en base a Respuesta a la Demanda al 20%.....	21
Figura 20. Presencia de los Diferentes Tipos de Generación, Respuesta a la Demanda 20%.....	22
Figura 21. Curvas optimas de Asignación de Recursos y Diferentes Valores de Respuesta a la Demanda .....	22
Figura 22. Concentración de curvas optimas de asignación de recursos y diferentes valores de Respuesta a la Demanda .....	22
Figura 23. Curvas de Energía Según las Diferentes Respuestas a la Demanda Propuesta en Donde el Usuario Ahorra .....	23
Figura 24. Grafo Bipartito con Solución Óptima de Gestión de Cargas .....	23

#### **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Pseudocódigo de asignación optima de recursos mediante método de resolución de red Simplex .....	16
Tabla 2: Pseudocódigo de respuesta a la demanda en base a ranking .....	17
Tabla 3: Precios De Generación.....	18

# GESTIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA MEDIANTE MODELOS BIPARTITOS PARA UNA ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA EN USUARIOS RESIDENCIALES

## Resumen

En el presente documento, se realiza una gestión energética dentro de una micro-red; por medio de la utilización de modelos bipartitos para una óptima respuesta a la demanda. La resolución de los modelos bipartitos se realiza mediante un modelo matemático, que es un método exacto en base a programación lineal, en específico el algoritmo Simplex, ya que nos permite optimizar al menor peso posible y maximizando las potencias. El análisis se enfoca en la reducción del consumo de energía dentro de los usuarios residenciales, mediante programas de respuesta a la demanda, el cual nos permite el aplanamiento de la curva de la misma. Además, se considera el tema “Internet de las Cosas”, el mismo que es el canal para alcanzar la respuesta a la demanda, sin perder el confort de los usuarios. En definitiva, este trabajo pretende demostrar, que pueden existir métodos alternativos para resolver problemas de asignación o gestión de energía asociados a la respuesta a la demanda, con resultados prometedores, como lo es la reducción de la participación de la red externa dentro de una micro-red, además de observar cómo se puede alterar una curva de demanda, en base a una correcta redistribución de recursos en el tiempo, por lo que se resume en ahorro para el consumidor.

**Palabras Clave:** Algoritmo Simplex, Asignación de Recursos, Grafos Bipartitos, Internet de las Cosas, Respuesta a la Demanda, Smart Home.

## Abstract

In this document, energy management is carried out within a microgrid; through the using of bipartite models for optimal demand response. The resolution of bipartite models is done through a mathematical model which is an exact method based on linear programming specifically the Simplex algorithm, since it allows us to optimize at the lowest possible weight and maximizing the powers. This analysis is focused on reducing energy consumption within residential users by means of demand response programs, which allows us to flatten the curve of it. In addition, the topic “Internet of Things” is considered the same channel to reach the demand response without losing users comfort. In short, this work aims to demonstrate the possibility of existence of alternative methods to solve energy allocation or management problems associated with the demand response with promising results as it is the reduction of participation of external grid within a microgrid, besides to observing how a demand curve can be altered, based on a correct redistribution of resources over time, so it is summarized in savings for the consumer.

**Keywords:** Simplex Algorithm, Resource Allocation, Bipartite Graphs, Internet of Things, Demand Response, Smart Home.

## 1. Introducción

Realizar un esfuerzo por recuperar nuestro medio, nuestro planeta; es un tema en la actualidad del día a día. Sin duda las fuentes de energía renovable y las fuentes de energía convencional de alta eficiencia, se ven como una alternativa prometedora, las mismas, hoy en día, se tratan de instalar lo más cerca a los usuarios. Este tipo de tecnología hoy se encuentra en tendencia, para lo cual se requiere de un análisis que respalde si en realidad al implementar este tipo de tecnología, el usuario como tal podrá recuperar su inversión de una manera rápida o simplemente es un tema más, que pronto quedara en el olvido. Para que este análisis cobre más fuerza de una forma positiva es ideal implementar métodos que sean capaces de asignar de una manera óptima, tanto en la generación eléctrica como las cargas que se quieren alimentar, para que las pérdidas sean mínimas si llegan a producirse, o no existan perdidas.

En 2008, K. Steimer [1] en el mundo, la demanda de energía eléctrica se incrementa cada vez, por lo que las emisiones de CO<sub>2</sub> sin duda lo hacen a la par. Por lo que existe una obligación de tomar alternativas de producción de energía eléctrica, que no necesariamente contenga un combustible fósil de por medio, es decir, recae en las energías renovables y un complemento principal, como lo es la eficiencia energética en base a la gestión de la demanda eléctrica, de tal modo que se optimicen los recursos.

Según [2], si bien se puede generar energía convencional con bajas emisiones de CO<sub>2</sub> por medio de energías renovables no convencionales, el siguiente inconveniente se daría por los costos al transportar toda la energía que se produce, hacia las diferentes cargas, por lo que se requiere que pequeños generadores se instalen lo más cerca a las cargas, lo que se quiere decir es que todo el tema de generación, recaerá en la

generación distribuida, la cual es una solución adecuada para de cierta manera ayudar a las centrales convencionales.

Claro está, como nos menciona [3][4], que las fuentes de generación se ubican cerca de las cargas que son puntuales, pero las mismas se pueden conectar o desconectar del conjunto que hace una red, de tal forma que funcione de una manera aislada; esto se definirá como una micro-red. Como tal, se da de la necesidad del cliente por mantener ciertos índices de calidad, confiabilidad y sobre todo pre visualizar costos, la cual tiene mucho futuro ya que constantemente se ajustan a las necesidades del usuario; en la actualidad existen micro-redes con fuentes completamente renovables como es el caso de energía eólica, energía fotovoltaica junto con sistemas de almacenamiento, entre otros.

En [5] Se conoce que existe un aumento de generación renovable, basado en lo antes expuesto, lo que implican nuevos retos, ya que hay ciertas incertidumbres. No se tiene un total conocimiento de cómo pueda actuar la micro-red, en base a si se conecta o no a la red, si produce o no. Para ello se necesitará crear una reserva rodante, lo que requiere un análisis para programar los recursos y realizar un despacho en base a cierto nivel de utilidad, en donde se lo realiza de acuerdo a diferentes variables, como costos de generación o nivel de contaminación. Lo cual no solo se lo puede mirar a nivel muy general, sino a un nivel más específico como una micro-red aislada, es decir la misma, no tiene un enlace con la red.

Para [6], existe una fijación de costos dentro del mercado eléctrico de una manera general, en donde, aparecen tipos de contratos que pueden describir la forma en que se lleva a cabo las transacciones de energía eléctrica.

Generalmente se pueden encontrar; contratos o transacciones spot, contratos

o transacciones a corto plazo y contratos o transacciones a largo plazo o futuro.

Dentro de los contratos o transacciones spot, se realiza un cierre de negocio previo de un día o hasta una hora antes, se puede decir que es en el instante, como consecuencia existe mayor dinamismo de precios.

Mientras que, en los contratos o transacciones a corto plazo, en donde se establecen varios parámetros como precios, derechos, obligaciones, todo esto enmarca tres pasos, como son negociación, subasta y planificación.

Finalmente, en los contratos o transacciones de largo plazo o futuro, se menciona como un contrato a proyección que dependerá de condiciones contractuales que establece la red principal.

Sin duda, conocemos los tipos de transacciones que existen en un mercado eléctrico, pero nos proponen, para una micro-red, el mercado descrito, transformarlo en un mercado de tan solo dos tipos de transacciones, como son los contratos o transacciones spot junto con los contratos o transacciones a largo plazo o a futuro, adicionando ciertos temas como lo es el almacenamiento de energía y la respuesta a la demanda.

El máximo valor que obtienen los clientes se lo puede definir como el valor de utilidad, y definitivamente para un consumidor el precio es mayor si el contrato inicialmente es menor, ya que la compensación por carga interrumpida es mayor.

De acuerdo a [7][8], una micro-red si ahora se la mira desde el punto de vista del operador en cierto punto se la considera como un bloque controlado dentro del todo que en este caso, es el sistema de energía, el cual será operado como un aporte o como un consumo, de acuerdo a una remuneración, de ser el caso atractiva, por otro lado, todo este tema de micro-red aportara causales como económicas, técnicas, ambientales y sin duda sociales, lo cual recae en una

motivación para los consumidores finales.

Existen varios métodos o dinámicas dentro de un mercado eléctrico que se inclina por micro-redes.

En [7] se maximizan en varios parámetros de operación del mercado, como:

- Una micro-red es totalmente independiente de una red de distribución aguas arriba y las estrategias inteligentes de la gestión de la energía va a tener como principal objetivo cubrir la demanda total de la micro-red, en base a su producción total, sistema de almacenamiento y la descarga del mismo.
- La estrategia inteligente de la gestión de la energía, tiene que utilizar la mayor parte de su producción sino es la total, esto sin depender de la red externa.
- La micro-red como tal participara en un mercado que se encuentre abierto, en donde exista compra y venta de energía a la red, como realizaría una empresa que vende energía o a la vez un consumidor.

En [9][10][11], se respalda la teoría de más que fijar un precio en micro-redes, se tiene que realizar un mecanismo dentro del mercado, tal como siempre ha existido en el mercado eléctrico, sin embargo se realizan ciertas acotaciones para ello, como operar un mercado de contingencia cuando dos mercados están operando de manera coordinada o no, además que la micro-red, no tiene que seguir funcionando como parte de un mecanismo de equilibrio de mercado.

En base a los temas antes descritos, se tiene una base de modelo de operación de mercado eléctrico para micro-redes.

Si bien existe una manera de transar dentro del mercado eléctrico, un punto relevante es la asignación de recursos; conocer de cierta manera cuanto recurso se necesita producir.

Según [12][13], una asignación de recursos se realiza mediante programas complejos de optimización ya que son del tipo no lineales o mediante paquetería de software, todo desde un punto de vista de ingeniería, los cuales ante la dinámica de una red de distribución se dificulta su utilización, por lo cual se propone un esquema de asignación de recursos a partir de flujos de potencia, donde se genere una matriz en la cual se pondera según la ubicación más óptima.

Por otro lado en [14][15], una central necesita de combustible para poder operar, y así cumplir con la demanda que exige la carga, esto tomando en cuenta los diferentes límites que tiene cada generador; al final todo se puede reducir en un modelo que represente la curva de consumo de combustible la cual ayudara a describir la potencia que logra entregar un generador.

Si la carga no es constante y varía de una forma estocástica, esta sigue una distribución de probabilidad. De acuerdo al nivel de servicio se definirá una cantidad de recurso que puede ser consumido, pero si el conjunto generador no cumple con el nivel de servicio, esto recae en una penalización, de la misma manera si el conjunto generador tiene más capacidad de generación, se puede decir que el sistema está sobredimensionado. Es necesario aclarar que un generador implica costos fijos y variables, un costo variable dentro del sistema es su combustible mientras que el costo fijo es el de los equipos, para el modelo estos costos son constantes. En definitiva, el modelo de asignación de recursos, contempla suposiciones, sobre el comportamiento de curvas de carga en función de combustibles, se han probado diferentes modelos de asignación de recursos como en sistemas de recolección de datos en lo que respecta a consumo en base a clima y demás factores relevantes.

En todo caso, si se logra tener mercados eléctricos y asignación de recursos eficientes, la carga debería de ser sin duda eficiente de alguna manera, es donde encontramos “Smart Home” (SH).

De acuerdo a [16], SH si bien es un tema que lleva algún tiempo inmerso en la parte eléctrica, no muchos la conocen, pero si muestran interés por su implementación.

En [17], nos menciona que un “Smart Home” de cierta manera común, es un sistema que se encarga de recolectar datos como voltaje, corriente, potencia entre otros, para posterior procesarlos y tomar decisión en base a ello, pero hasta cierto punto para un usuario es complicado interpretar estos datos.

En [18], nos propone que los componentes principales de una “Smart Home”, son dispositivos, plataforma con enlace a una nube y finalmente un sistema de gestión o asignación de recursos.

Por otro lado [19], nos plantea que “Smart Home” se puede considerar como dos sistemas totalmente diferentes, como la que monitorea y la que realiza la gestión o el control de los dispositivos por lo que nuevamente caemos en la asignación de recursos, es decir que al final se pueden fusionar tanto el software como el hardware, y se llega a coincidir en el desarrollo de una plataforma informática que contiene una parte que monitorea y otra que gestiona, además de un medidor de energía, y en definitiva logran una correcta integración en las redes eléctricas. En [19] nos menciona que se puede realizar una implementación de una “Smart Home” tan solo con un PLC (Controlador Lógico Programable).

Por [18], nos menciona que el “Internet de las Cosas”, para una “Smart Home”, será relevante en los últimos años, no solo en este campo, sino en la parte industrial, salud, transporte, que

tanto el “Internet de las Cosas” tiene que ver en el “Smart Home”, dependerá del nivel de privacidad que se quiera mantener.

En [20], plantea que la recolección de datos que necesita una “Smart Home”, se lo realice mediante el protocolo MQTT, el cual se encargara de realizar la comunicación entre todos los dispositivos inteligentes, el cual se encuentra estrictamente ligado al “Internet de las Cosas”.

Según [21], un broker se denominara como un dispositivo que se encargara de direccionar la información hacia las cargas, mientras que MQTT, se establece como el canal de comunicación mediante el cual existe el enlace carga-broker.

Mediante [22], nos dice que “Internet de las Cosas”, nace de la necesidad de los dispositivos por conectarse a internet, concepto que se encontraba disponible desde hace algunos años atrás, pero no era aplicado sino gracias a la creación de la nube, en donde se almacenaran los datos que se van adquiriendo, momento en que el concepto se consolida.

En concreto [23], menciona que se tiene tres funciones relevantes dentro de “Internet de las Cosas”, capa de percepción, capa de red y capa de aplicación. En la capa de percepción, no será nada más que un nodo, el cual se encarga de recolectar los datos de un área en específico, en el caso de la capa de red es el medio de transmisión por donde se transportaran los mensajes, finalmente la capa de aplicación, se detalla como la plataforma o página donde se realiza una gestión o control del sistema.

Se plantea hacer más eficiente un sistema, sin duda, respuesta a la demanda será otro tema de relevancia.

Como bien lo dice [24][25], la respuesta a la demanda es hoy en día una herramienta de bastante alcance para una óptima gestión en lo que a carga respecta, dentro de una red.

Sin embargo [26], plantea que es complicado en la actualidad realizar una implementación de este tipo, para las empresas en general; ya que requieren obtener incentivos mediante los cuales se ahorran costos, se plantea una manera fácil y económica para la respuesta a la demanda.

De manera general [27][28], nos menciona a la respuesta a la demanda como, seleccionar un fragmento dentro de toda la demanda, que se considere menos relevante, para consumir en mayor proporción, debido al termino precio.

En el presente documento se plantea un modelo matemático para asignación de recursos basándose en modelos bipartitos, aplicando algoritmos simplex, a un modelo de demanda diaria, en donde se comprende energía no convencional y convencional de alta eficiencia en lo que respecta a generación. Además, se implementará, óptima respuesta a la demanda; todo lo mencionado, aplicado en usuarios residenciales.

El documento se estructura en delante de la siguiente manera. En la sección II se describirá a las micro-redes y sus componentes, basados en fuentes de energía como lo es: fotovoltaica, eólica, CHP, baterías, además de conceptos de manera general al respecto, así como de asignación de recursos y el método simplex, para finalmente entrar en el tema de respuesta a la demanda, con sus respectivos pseudocódigos. Para la sección III se realizará una formulación del problema y de los modelos utilizados en este documento como lo es modelos bipartitos y algoritmo simplex, para proponer como tema final de la sección a la respuesta a la demanda, en la sección IV se pone en consideración los casos de estudio, para la sección V se consideran los resultados obtenidos de los modelos mencionados, sección VI, conclusiones del presente trabajo.

## 2. Marco Teórico

Según [29][30][31], en el mundo los países se encuentran realizando grandes esfuerzos por sobrellevar el calentamiento global, ya que la mayor parte de producción de energía que se utiliza, se genera a partir de combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas natural, en forma general viene a ser energía convencional en donde se puede encontrar sistemas de producción de energía como CHP; además, como solución se plantea una gran penetración de energías renovables o energías no convencionales que se puede obtener de un recurso renovable; dentro de energía no convencional encontramos: energía eólica, energía fotovoltaica.

### 2.1 Energía Eólica

Por [32], es de gran relevancia ya que al momento se encuentra en crecimiento por exigencia de mejorar la producción de energía y conservar el medio ambiente, en este punto los aerogeneradores que se emplean funcionan a una velocidad constante y estos no se pueden variar con la velocidad del viento a la que se someten, por lo que no se puede utilizar con un factor óptimo, sin embargo [33], existen generadores que varían la potencia de salida mediante la rotación sobre su eje de las palas, de esta manera por aerodinámica presentara más o menos oposición al recurso en este caso el viento, en [34], nos plantea que la inyección de este tipo de generación que por su naturaleza se instala en parques eólicos que generalmente están aislados o alejados de las concentraciones de cargas, consumirán potencia reactiva, además de influir en la frecuencia del sistema y en su voltaje, por lo que instalar cerca de las cargas sin duda sería lo ideal. [32] se plantean varias ecuaciones que describen el comportamiento de un aerogenerador, la potencia de entrada dependiendo de la

aerodinámica, es un elemento relevante, que se describe en la ecuación (1).

$$P_r = \frac{1}{2} C_p A v^3 \quad (1)$$

Donde:

$C_p$ : Coeficiente de potencia.

$\rho$ : Densidad del aire.

$A$ : Área que comprenden palas de aerogenerador.

$v^3$ : Velocidad del aire, la cual dependerá del coeficiente de potencia.

Sin embargo  $C_p$  también depende de la velocidad punta del radio  $\lambda$  y el ángulo de las palas del aerogenerador  $\beta$ . Lo cual describirá la ecuación (2).

$$\lambda = \frac{\omega_T R_T}{v} \quad (2)$$

Donde:

$\omega_T$ : Es la velocidad angular a la que gira las palas del aerogenerador.

$R_T$ : Representa al radio de las palas del aerogenerador.

$v$ : Velocidad del viento.

### 2.2 Energía Fotovoltaica

En [35], encontramos que este tipo de energía en los últimos años se ha desarrollado de una manera muy rápida, lo que quiere decir que ahora es una tecnología bastante madura, y en algún momento se convertirá en parte importante de la producción de la energía eléctrica, este tipo de tecnología es muy susceptible a la cantidad de luz a la que se somete, y también a la variación de temperatura, por lo que se tiene cierta incertidumbre en su comportamiento, a lo que [36], responde que se debe acudir a la recolección de datos, es decir que los datos históricos es la base, por otro lado [37], plantea que los costos de instalación de este tipo de energía se sigue reduciendo a diferencia de los años anteriores, por lo que es viable desde el punto de vista económico, es decir [38], menciona que una central de este tipo no



compite en costos de generación porque se lo compara de cierta forma con combustibles fósiles como energía primaria, más bien entra a competir en el costo de almacenar esa cantidad de energía. Por otro lado [39], plantea diversas ecuaciones que describen el comportamiento de este tipo de energías; por parte del panel fotovoltaico tenemos la ecuación (3), la que describe el punto de máxima potencia, esta ecuación depende estrictamente de la irradiancia como de la temperatura, en donde varía la capacidad del mismo.

$$P_M = V_M \cdot I_M \quad (3)$$

Donde:

$V_M$  : Voltaje de celda dado por el fabricante.

$I_M$  : Corriente de celda dado por el fabricante.

Así, como también se puede obtener a partir de una regresión de las curvas I-V (Corriente-Voltaje), mediante la ecuación (4).

$$i = A \left( 1 - Be^{\left(\frac{v-C}{D}\right)} \right) \quad (4)$$

Donde:

Los coeficientes A, B, C, D se deben determinar, además, bajo las ecuaciones (5), (6), que deben cumplir las siguientes condiciones para C, A:

- En el punto de circuito abierto:

$$i = 0; \quad v = V_o \rightarrow C \approx V_o \quad (5)$$

- En el punto de corto circuito:

$$i = I_S; \quad v = 0; \quad e^{\left(\frac{v-C}{D}\right)} = 0 \rightarrow A \approx I_S \quad (6)$$

Mientras que para B, D, se describen las ecuaciones (7), (8):

$$I_M = I_S \left( 1 - Be^{\left(\frac{V_M - V_o}{D}\right)} \right) \quad (7)$$

$$i = I_M; \quad v = V_M; \quad A \approx I_S; \quad C \approx V_o$$

Derivada:

$$\frac{d}{d} = \frac{d}{d} \cdot V_M + I_M = 0 \quad (8)$$

Con respecto a  $M$ .

Con la ecuación (8) y la ecuación (7) se puede llegar a:

$$D = \frac{V_M}{I_M} (I_S - I_M) \quad (9)$$

$$B = \frac{1 - \frac{I_M}{I_S}}{e^{\left(\frac{V_M - V_o}{D}\right)}} \quad (10)$$

Los coeficientes previos, se han calculado con valores de referencia tanto de temperatura como de irradiancia, donde se toma en cuenta es después de las ecuaciones (5) y (6).

$$I_{S,r} = I_{S,r} \cdot \left( \frac{W}{W_r} \right)$$

$$V_{o,r} = V_{o,r} \cdot k_T (T - T_r) - V_{o,w}$$

$$V_{o,r} = V_{o,r} - k_W \left( \frac{W_r - W}{W} \right) \quad (11)$$

Donde:

$I_{S,r}$  : Corriente de corto circuito con un nivel de irradiancia de referencia y temperatura de celda.

$I_S$  : Corriente de corto circuito en el nivel actual de irradiancia y temperatura de celda.

$V_{O,r}$  : Voltaje de circuito abierto en un nivel de irradiancia de referencia y temperatura de celda.

$V_O$  : Voltaje de circuito abierto con un nivel de irradiancia actual y temperatura de celda.

$W_r$  : Nivel de referencia de irradiancia.

$W$ : Nivel actual de irradiancia.

$T_r$  : Temperatura de celda de referencia.

$T$ : Temperatura de celda actual.

$k_T$ : Coeficiente de variación de temperatura de  $V_O$ .

$k_W$ : Coeficiente de variación de irradiancia de  $V_O$ .

Otra parte principal es el sistema de control de inyección de potencia el cual se describe bajo la derivada, que expresa la ecuación (12).

$$\frac{dP_p}{dV_p} = \frac{dI_p}{dV_p} + V_p + I_p = 0$$

En donde:

$$P_p = V_p \cdot I_p \quad (12)$$

Para encontrar la corriente de referencia del inversor, se encontrara del resultado de multiplicar un valor RMS de la onda sinusoidal, además de  $u_s$ , el cual se da de un parámetro del sistema eléctrico de potencia, el que coincide con el valor de la fuente de corriente RMS, la que se describe en la ecuación (13).

$$i_s(t) = k \cdot u_s(t); \quad u_s = \frac{v_s}{V_{s,r}} \quad (13)$$

La variable k, se puede tener a partir de asumir que la potencia activa media inyectada por el inversor es igual a la potencia fotovoltaica máxima, describe la ecuación (14).

$$k = \frac{V_p \cdot I_p}{V_s} \quad (14)$$

Finalmente se asume que  $I_p = I_{p,r}$ .

Por otro lado [40], propone tres ecuaciones en donde están involucradas las horas pico de sol (HPS), cálculo de la energía producida por el panel fotovoltaico y para finalmente calcular la potencia.

Horas pico de sol, descrito por la ecuación (15).

$$H = \frac{R}{I} \quad (15)$$

Donde:

$I$ : Potencia de irradiación incidente

$R$ : Irradiación.

Energía producida por el panel, descrito por la ecuación (16).

$$E_{p,f} = I_{p,f} \cdot H \cdot r_{p,f} \quad (16)$$

Donde:

$I_{p,f}$ : Corriente alcanzada durante un día.

$H$  : Horas pico de sol.

$r_{p,f}$ : Rendimiento del panel fotovoltaico, oscila entre 0.85 y 0.95, lo recomendable es tomar un promedio que es 0.90.

Finalmente, la potencia generada se calcula, en base a la ecuación (17).

$$P_{p,f} = I_{p,f} \cdot V_{p,f} \quad (17)$$

Donde:

$I_{p,f}$ : Corriente máxima a una hora específica.

$V_{p,f}$ : Voltaje del panel solar.

### 2.3 Baterías

En [41][42], menciona que si bien hoy en día se tiene una gran presencia de tipos de energías renovables o energías limpias, estas tienen un punto negativo, y es que no pueden producir energía de una manera constante; es en donde se plantea como solución a los sistemas de

almacenamiento de energía para este caso las baterías. Sin embargo [43], destaca que aún existen interrogantes en este tipo de tecnología como lo es la vida útil de las baterías ya que implica variables físicas del medio en donde trabajara. Por parte de [44], se plantean varios temas que se deben ponderar para modelar o caracterizar una batería, ya que es importante conocer el comportamiento de la misma.

### 2.3.1 Capacidad

En donde la integral de la corriente que circula por cierto tiempo está involucrada, como se describe en la ecuación (18).

$$C = \int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt \quad (18)$$

Donde:

$i$ : Cantidad de corriente de batería dentro de un rango de tiempo  $t_1$ ,  $t_2$ .

La ecuación se describe tanto para la parte de carga como descarga.

### 2.3.2 Capacidad nominal

La capacidad que una batería entregara desde que se encuentra totalmente cargada hasta que llega a cierto nivel de descarga bajo condiciones ideales o predeterminadas.

### 2.3.3 Capacidad real

La capacidad que una batería entregara desde que se encuentra totalmente cargada hasta que llega a cierto nivel de descarga bajo condiciones no ideales, la misma que llegara a ser mayor o menor que la carga nominal.

### 2.3.4 Capacidad retenida

Cierta capacidad que se retiene en la batería posterior a un periodo de reposo.

### 2.3.5 Capacidad disponible

Capacidad que entregara una batería hasta llegar a un punto de tensión final no determinado.

### 2.3.6 Profundidad de descarga

Relación entre capacidad entregada con respecto a la capacidad de la misma.

### 2.3.7 Índice C

Relación de carga y descarga la cual es proporcional a la capacidad nominal de batería.

### 2.3.8 Autodescarga

Cuando una batería se encuentra en circuito abierto y, aun así, esta pierde capacidad.

### 2.3.9 Carga Lenta

Restablecimiento de la capacidad de la batería por un largo periodo de tiempo, puede ser más de 10 horas.

### 2.3.10 Carga Rápida

Restablecimiento acelerado de la capacidad de la batería por un corto periodo de tiempo, puede ser menores a 3 horas.

Por otro lado [45], describe varias ecuaciones para el modelamiento de baterías, se puede empezar por describir la capacidad y el estado de carga de una batería, la que se describe en la ecuación (19).

$$S(t) = \frac{Q(t)}{Q_0}, \frac{dQ(t)}{dt} = -I(t) \quad (19)$$

Donde:

$I$ : Corriente de la batería.

$Q$ : Carga eléctrica.

$Q_0$ : Capacidad de la batería.

Claro está que la capacidad de almacenamiento depende estrictamente de la corriente, además que, para una prueba típica de descarga, una corriente constante se debe aplicar. A continuación, se describirá la ecuación de voltaje de circuito abierto, se puede llegar a conocer que el modelo de la batería tiene una resistencia interna, la

cual se puede asumir, la ecuación (20), describe voltaje en los terminales.

$$U = U(S) - R_i(S) \cdot i \quad (20)$$

$$i = -\frac{d(S)}{d} \quad (21)$$

Realizando un corto circuito, se puede definir el voltaje de circuito abierto en las ecuaciones (22), (23), (24).

$$I_{sho} = \frac{U(S)}{R(S)} \quad (22)$$

$$U_o(S) = U_o(S) \quad (23)$$

$$R(S) = \frac{U_o}{I_{sho}} \quad (24)$$

Adicional se puede comprobar un método más en donde se simula un circuito con una resistencia, en donde se tomarán dos mediciones una inicial y una final tanto en corriente como en voltaje, para lo cual, las ecuaciones (25), (26), describen.

$$R = \frac{U1 - U2}{I2 - I1} \quad (25)$$

$$U(S) = U1 + \frac{U1 - U2}{I2 - I1} \cdot I1 \quad (26)$$

## 2.4 CHP

Describe [46], que es un tipo de generación combinada, al producir calor se produce energía eléctrica en una sola unidad, es decir que se recupera el calor que produce un generador que trabaja en base a un combustible fósil, existen varios tipos de generación combinada como lo es motores de combustión interna, motor Stirling, turbinas de gas, turbinas de vapor. Menciona [47], el calor producido se lo puede emplear para calefacción, para preparación de agua sanitaria o como también para calentar

agua de una piscina, debido a la tecnología empleada, la eficiencia de este tipo de generación se eleva a un 90%. En [48], hace énfasis en que se debe emplear posterior a la generación un sistema de almacenamiento térmico, así mismo, se plantea almacenar en forma de energía eléctrica. Por otro lado [49], da a conocer que el modelado de este tipo de tecnología aún está en etapas muy tempranas. Sin embargo, se plantean varias ecuaciones para el modelado de diferentes partes que son relevantes, como lo es compresor, turbocompresor, turbina, enfriador, cilindro de gas. En las ecuaciones (27), (28) se encuentra las expresiones que describen el compresor en función al torque  $T_q$  y temperatura  $T_1$ , con datos de entrada como lo es la velocidad rotacional  $n_c$  y el flujo de aire  $D_a$ .

$$T_1 = T_0 \left[ 1 + (1/n_c) (\pi_c)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (27)$$

$$T_q = \frac{1}{n_c} \frac{k}{k-1} \frac{30 D_a R T_0 (\pi_c)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\pi_c n_c} \quad (28)$$

Donde:

$T_0$ : Temperatura del aire.

$k$ : Índice adiabático del aire.

$\pi_c$ : Radio de presión.

$n_c$ : Eficiencia del compresor.

Las ecuaciones que describen el comportamiento del turbo compresor es la ecuación (29); donde se tiene datos de entrada como lo es el torque que consume el compresor  $T_q$ , salida del torque que genera la turbina  $T_t$  y velocidad rotacional de la turbina  $n_c$ , el ultimo parámetro es igual a la velocidad rotacional del compresor en estado estable.

$$I_t \frac{\pi d^3 c}{30 d} = n_t T_t - T_q \quad (29)$$

Donde:

$I_t$ : Momento de inercia de parte rotacional.

$n_t$ : Eficiencia mecánica de turbo compresor.

Las ecuaciones que describen el comportamiento del turbo compresor es ecuación (30), (31); donde tenemos datos de entrada como temperatura del gas de la turbina  $T_t$ , velocidad rotacional  $n_t$  y flujo de gas  $D_m$ , adicional temperatura del gas de la turbina a la salida  $T_{t,l}$  y torque de la turbina  $T_t$ , se describe como balance de energía y equilibrio de torque.

$$T_{t,1} = T_t \left\{ 1 - n_t \left[ 1 - \frac{1}{(\pi_t)^{(k-1)/k}} \right] \right\} \quad (27)$$

$$T_{t,1} = n_c \frac{k}{k-1} \frac{30 D_m R T_t [1 - (1 - \pi_t)^{(k-1)/k}]}{\pi_t n_t} \quad (28)$$

Donde:

$n_t$ : Eficiencia de la turbina.

$\pi_t$ : Radio de expansión de la turbina

El enfriador, se podrá describir con las ecuaciones (29), (30), (31), en donde los datos de entrada son: temperatura del aire  $T_l$ , flujo de aire  $D_{c,0}$ , temperatura del agua  $T_{c,0}$ , temperatura de aire del enfriador  $T_2$ , de acuerdo a la ley de la conservación de la energía, proceso de transferencia de calor.

$$T_2 = T_1(1 - \phi_1) + \phi_1 T_w \quad (29)$$

$$T_{c,0} = K_1 T_w + K_2 T_1 \quad (30)$$

$$D_{c,0} = K_3 D_a \quad (31)$$

Donde:

$\phi_1$ : Eficiencia del enfriador.

$T_w$ : Temperatura del agua del enfriador.

$K_1, K_2, K_3$ : Coeficientes de transferencia de calor y radio de flujo.

Finalmente se describen las ecuaciones del cilindro de gas, ecuaciones (32), (33), (34), donde como datos de entrada tenemos, temperatura de aire del cilindro  $T_2$ , presión del enfriador  $p_2$ , temperatura del agua  $T_{g,0}$ , flujo del gas  $D_f$ , flujo del aire  $D_a$  que entra en el cilindro de aire. Como datos de salida se tiene; flujo de gas que escapa  $D_m$ , potencia mecánica del generador sincrónico  $P_m$ , temperatura del agua  $T_{g,l}$ .

$$D_m = D_a + D_f \quad (32)$$

$$T_{g,l} = \frac{\zeta_w D_f H_u}{C_w \cdot D_m} + T_{g,0} \quad (33)$$

$$P_m = n_m D_f H_u \quad (34)$$

Donde:

$C_w$ : Calor específico del agua.

$H_u$ : Bajo valor calorífico del gas.

$n_m$ : Eficiencia del generador.

$\zeta_w$ : Eficiencia de absorción de calor.

## 2.5 Micro-Red

En [50], describe que una micro-red nace de la necesidad de generar energía eléctrica de forma factible y de buena calidad, sin duda amigable con el medio ambiente. Según [51] [52], una micro-red se puede componer de diferentes fuentes de generación claro está; tienen que ser renovables en su mayoría, pero una micro-red debe tener como parte principal un sistema de almacenamiento de energía, es decir, que una micro-red no será más que, un conjunto de cargas y generadores con una unidad de almacenamiento. Explica [53][54] que, una micro-red debe ser del tipo flexible y totalmente controlada para aumentar de esta manera su confiabilidad. Por otro lado [55][56], propone que en los sistemas de almacenamiento se pueda incluir la conexión de vehículos eléctricos, para descarga y aporte de energía a la micro-red. Finalmente [50], nos menciona que las micro-redes se

clasifiquen en tres sistemas de acuerdo al funcionamiento, el primero netamente que comprenda un red en corriente alterna, el segundo que comprenda una red en corriente directa y el tercero que comprenda un sistema híbrido que se comparta tanto corriente directa y corriente alterna.

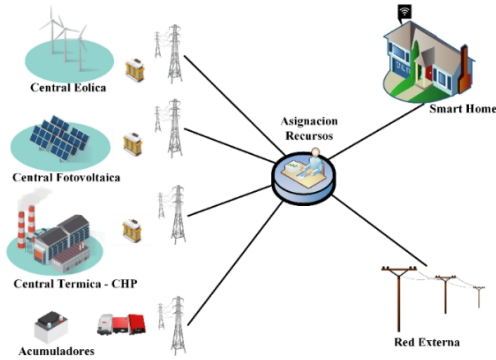


Figura 1. Diagrama de Micro-red [57].

## 2.6 Asignación de Recursos

En [58][59], se menciona que para que exista una asignación de recursos es principal realizar una óptima repartición de los mismos con los que se cuentan en el sistema, donde se puede considerar variables como costos o pesos, cantidad de emisiones de gases o potencia activa. Por [60][61], menciona que se han desarrollado varios algoritmos de control, pero se propone una programación dinámica, para mantener la optimización de costos. En [62], se conoce como programación dinámica, a un método que determinara el mejor conjunto candidato que contiene decisiones, para de esta manera conectar en los caminos más óptimos posibles, en función de subrutinas de la misma manera óptimas hasta llegar a la solución, si bien se propone la programación dinámica es debido a que reduce la dimensión del problema, además de mantener una asignación del recurso y un balance de energía a la par. Para lo cual se propone el método o algoritmo Simplex, ya que se podría calificar como un problema de programación lineal.

## 2.7 Método de resolución de red Simplex

Por [63], se dice que este método se convierte en un método genérico, si bien se puede emplear métodos gráficos para resolver, estos no se puede emplear cuando se tiene más de dos variables, por lo que el método de red Simplex se encargara de tener una representación simplificada de la realidad, en donde se busca maximizar o minimizar una función en base a restricciones que representaran en forma de inecuaciones y se los puede definir como un poliedro, en donde se empezara desde un nodo predefinido.

En [64], propone al método simplex como un método extremadamente poderoso que se ha diseñado hasta la fecha para dar solución a problemas de optimización bajo restricciones; en la comunidad científica no solo se lo ve como un motor de las matemáticas aplicadas sino como un contribución histórica. Debido a su alta eficiencia el algoritmo de red Simplex se lo califica de esta manera. No solo se puede solucionar problemas numéricos, sino que se tiene una gran comprensión en la parte teórica y práctica mediante un análisis de sensibilidad y teorías de dualidad, es un algoritmo valido para emplear en problemas como flujos, costos mínimos, y de estos simplificar para maximizar la estructura. Por otro lado, cuando se habla del algoritmo Simplex en redes, los arboles de expansión se encuentran inmersos, el problema de flujos a un costo mínimo tendrá al menos una solución óptima dentro del árbol de expansión, claro que es posible encontrar esa solución óptima si se comienza a llenar todas las posibles combinaciones dentro de las aristas que se encontraran establecidas con valores, los cuales también pueden ser cero; este movimiento de combinaciones se denomina como una operación pivote.

Finalmente [65], propone que el algoritmo Simplex corresponde a una solución de árbol de expansión y problemas de minimización de costo de flujo, ya que estos se disminuyen constantemente hasta llegar al flujo óptimo.

El proceso del algoritmo Simplex, se detalla a continuación, en un conjunto de 8 pasos, en base a grafos y métodos exactos, es importante resaltar que este método es un método iterativo.

*Primer paso:* determinar una combinación inicial de un árbol (T, L, U), donde T es el calor del flujo, L las aristas que sobran, U que es un conjunto vacío.

*Segundo paso:* establecer parámetros para  $x$  y  $\pi$  donde el valor de  $x$ , no será nada más que el valor del flujo y  $\pi$  la capacidad que está dispuesta a entregar cada nodo.

*Tercer paso:* mientras las aristas que no son arboles violen las restricciones, se quedara repitiendo el proceso desde el segundo paso, hasta que la condición sea distinta, en este caso se cumplan las restricciones.

*Cuarto paso:* se parte de seleccionar una arista nueva (k, l) que no cumpla la restricción.

*Quinto paso:* se agrega una nueva arista (k, l) al árbol.

*Sexto paso:* se determina que arista sale (p, q).

*Séptimo paso:* se actualiza el árbol y los parámetros de  $x$  y  $\pi$ , si estos llegan a cumplir las restricciones, procede el octavo paso.

*Octavo paso:* finaliza el algoritmo.

## 2.8 Grafo.

Según [68], un grafo se define como la representación de los elementos de un conjunto y lo que implica en base a relaciones binarias, estos constan como un punto en el espacio, claro está que estos pueden encontrarse unidos mediante una línea, a lo que se denomina

aristas y los puntos se los puede denominar como vértices o nodos, cabe recalcar que un grafo contiene únicamente información acerca de conectividad.

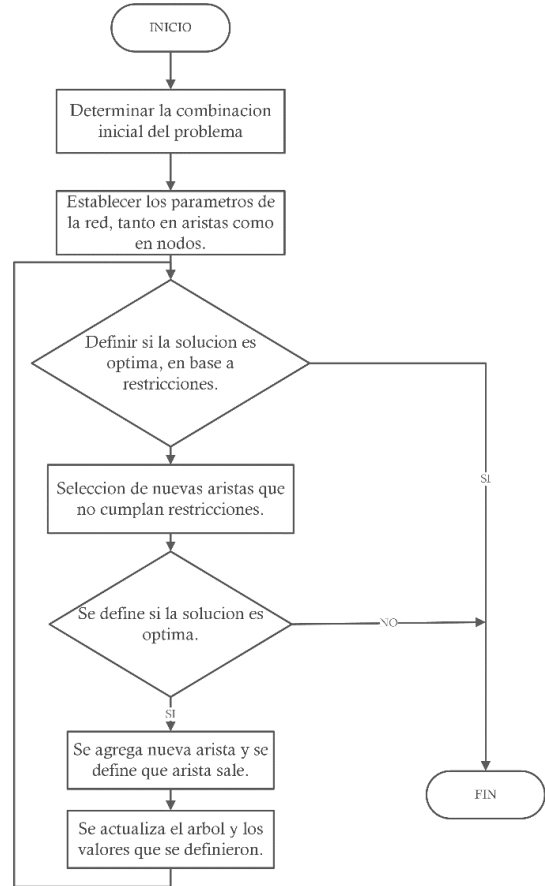


Figura 2. Diagrama de Flujo, Método de Resolución de Simplex [66].

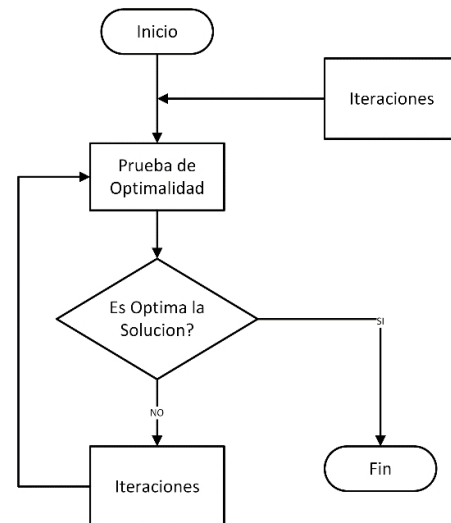


Figura 3. Funcionamiento de método de resolución de red Simplex [67].

## 2.9 Grafo bipartito.

Proponen nuevamente [68], si partimos de un grafo  $G = (N, E)$  se dice que si el conjunto de nodos que contiene el grafo, se puede dividir en dos conjuntos no juntos y no vacíos de nodos  $N_1$  y  $N_2$ ; como se muestra en la ecuación (35).

$$N_1 \cup N_2 = N \text{ y } N_1 \cap N_2 = \emptyset \quad (35)$$

En definitiva, que cada nodo del conjunto  $N_1$  sea adyacente o tenga conexión en los nodos del conjunto  $N_2$ . De la misma manera se dice que un grafo bipartito completo se da, siempre y cuando exista adyacencia o conectividad entre todos los nodos.

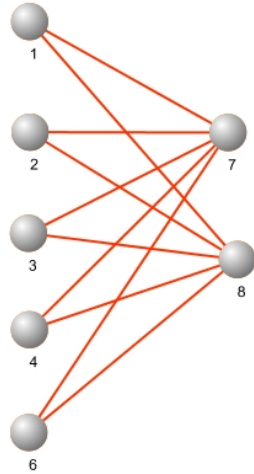


Figura 4. Grafo Bipartito Completo [66].

## 2.10 Modelamiento del método de resolución de red Simplex.

En el presente artículo, se pretende encontrar el máximo flujo o la máxima capacidad que se puede dar entre nodos, mediante enlace al menor costo, en este caso, el costo se verá descartado por pesos, ya que lo que se requiere, es la mayor participación del grupo generador con el que se cuenta en la micro-red, los nodos representarán cargas y generadores, mientras que los enlaces estarán representados por las capacidades que se requiere dar y recibir. Por otro lado [67], plantea que existe una solución básica que cumple con cada

iteración dada, en donde se define por tres conjuntos (B, L, U), donde:

B: será un conjunto de aristas definida inicialmente dentro del árbol de expansión.

L, U: será un conjunto de aristas no fundamentales los que representan los límites tanto superior como inferior.

A todo esto, se lo definirá como estructura básica en donde se cumplirá, siempre y cuando  $x_{i_i} = 0$  para cada arista  $(i, j) \in L$  y se establece que  $x_{i_i} = u_{i_i}$  para cada arista  $(i, j) \in U$  de las restricciones del planteamiento, la función objetivo que se pretende resolver se presenta en (36).

$$m \sum_{(i,j) \in A} C_{i_i} x_{i_i} \quad (36)$$

Donde:

$x_{i_i}$ : Peso de cada generador.

$C_{i_i}$ : Potencia de cada generador.

Sujeto a:

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_i - \sum_{j:(i,j) \in A} x_j = b(i) \forall i \in N \quad (37)$$

$$l_{i_i} \leq x_{i_i} \leq u_{i_i} \quad \forall (i, j) \in A \quad (38)$$

Cuando se tiene nodos potenciales se dice que llegamos a una solución óptima, los cuales se representan por  $\pi$  en conjunto con los nodos costos reducidos de la red los cuales se describe por la ecuación (38):

$$\overline{C}_{i_i} = C_{i_i} - \pi(i) - \pi(j) \quad (38)$$

$$\overline{C}_{i_i} = 0 \quad \forall (i, j) \in B \quad (39)$$

$$\overline{C}_{i_i} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in L \quad (40)$$

$$\overline{C}_{i_i} \leq 0 \quad \forall (i, j) \in C \quad (41)$$

Cabe recalcar, que se tiene una estructura básica de cual se inicia, y esta



con cada iteración se va mejorando hasta llegar a una solución que satisface todas las restricciones.

### 2.11 Pseudocódigo método de resolución de red Simplex para asignación de recursos.

Si bien se explica que el método que se utilizara, se emplea en una red de flujo y se tiene únicamente un grafo bipartito completo, este pasara por un conjunto de pasos previos para ser tratado como una red de flujo, los cuales se presentaran en forma gráfica. Primero se ingresara un grafo bipartito completo, en donde se representan las cargas y los recursos disponibles, en conjunto con la respuesta a la demanda, sistemas de almacenamiento y red como respaldo.

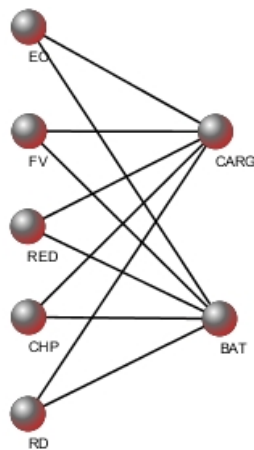


Figura 5. Grafo Bipartito Completo, Planteamiento [66].

Posterior se establecerá la demanda y generación que se requiere cumplir, esto se lo realizara introduciendo dos nodos, los cuales representan lo que se quiere enviar y lo que se quiere recibir, por lo que en consecuencia se convierte en una red de flujo, la cual se somete al método de resolución de red Simplex.

El algoritmo asignara los enlaces como la solución óptima, los cuales se representaran de un color diferente al establecido inicialmente.

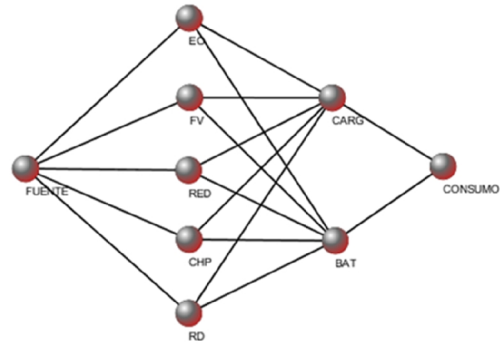


Figura 6. Grafo Bipartito Aumentando Nodos, red de flujo [66].

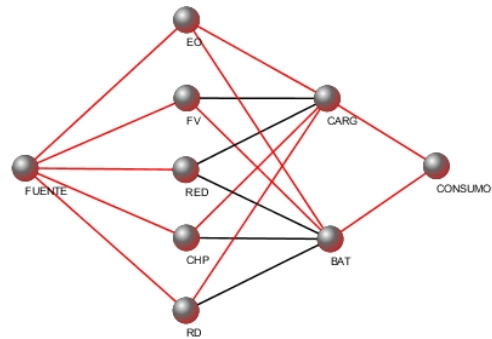


Figura 7. Solución de asignación de recursos [66].

Es necesario mencionar que posterior a la ejecución del algoritmo se procede a eliminar estos nodos, ya que solo nos sirve para armar la red de flujo y de esta manera establecer las restricciones de balance de potencias, por lo que toma de nuevo la forma de un grafo bipartito, con la solución óptima, que es a donde se quiere llegar con el algoritmo planteado.

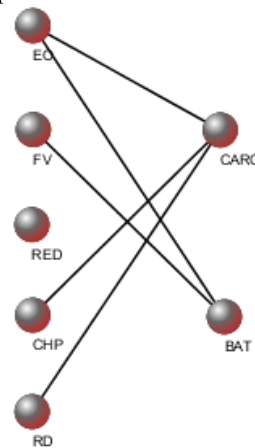


Figura 8. Solución de asignación de recursos, grafo bipartito [66].

Ya dada la aclaración, se presenta el pseudocódigo del método de resolución de red Simplex para asignación de recursos, el cual es una secuencia ordenada de pasos para llegar a la forma de la solución que se plantea gráficamente, la cual varía de acuerdo a los datos establecidos.

**Tabla 1:** Pseudocódigo de asignación óptima de recursos mediante método de resolución de red Simplex.

---



---

ALGORITMO ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE RECURSOS

---

**Paso 1:** Inicio y llamado a todos los módulos.

**Paso 2:** Ingreso datos de generación de curvas de potencia de cada módulo generador, con todas las combinaciones posibles y respuesta a la demanda.

```
Dataset=data(['GEN'], ['POT'], ['RD'], ['DEM'])
```

**Paso 3:** Definir número de intervalos de tiempo para asignación  
for 1-24: i=i++.

**Paso 3.1:** Generar grafo vacío.  
Grafo = nx.Graph()

**Paso 3.2:** Búsqueda de nodos en dataset para implementar red de flujo y establecer generación y demanda.

```
Dataset['s'] = Generación requerida
Dataset['l'] = Demanda requerida
```

**Paso 3.3:** Llenar grafo con toda la información restante del dataset.

```
for i=1:numero de datos dataset
add.arista_grafo(Genl(i),Cargl(i),Peso(i),Capacidad(i))
end
```

**Paso 3.4:** Agregar aristas o enlaces para completar red de flujo.

```
add.arista_grafo(Generacion_requerida,Generador)
add.arista_grafo(Generador,Demanda_requerida)
```

**Paso 3.5:** Ejecuta método de red Simplex.  
flowDict = nx.network\_simplex(Grafo)

**Paso 3.6:** Crear un grafo vacío, el cual almacenará la respuesta del paso 3.4.

```
Grafo_N = nx.Graph(flowDict)
```

**Paso 3.7:** Remover nodos de generación y demanda requerida.

```
Grafo_N = Grafo_N.drop(Nodo_s,Nodo_l)
```

**Paso 4:** Se genera resultados en grafo bipartito.

**Paso 5:** Gráfica de resultados.

**Paso 6:** Fin.

---



---

## 2.12 Respuesta a la demanda.

En [69][70][71], se propone un tipo de ejecución de respuesta a la demanda, lo que consiste, en implementar un sistema de gestión que permita desconectar aparatos de consumo, para de cierta manera disminuir la carga en corto plazo, a cambio se recibirá ciertos incentivos en su factura, si de cierta forma es una buena alternativa, esto no puede mantenerse de una manera frecuente, lo que se propone como solución es que se pueda desplazar el consumo a otras horas del día, para de esta manera las tarifas sean óptimas, aumentando y reduciendo por intervalos de tiempo a lo largo del día en donde la respuesta a la demanda se varía entre el 5% al 20% del consumo.

Por otro lado [72][73], nos menciona que se debe incluir en la ejecución a la industria, tecnología de la información, empresa proveedora de energía eléctrica, usuarios, en donde el último punto es el eslabón principal, ya que es necesario conocer el comportamiento de esa carga residencial. En [74][75], propone realizar toda una restructuración para que se normalice la respuesta a la demanda, comenzando desde la certificación de dispositivos, normas de construcción y estándares técnicos, además de la introducción de vehículos eléctricos como aporte a la red cuando estos no estén cargando energía. En este ámbito se propone realizar mediante “IoT” (Internet de las cosas), el control de que cargas se pueden encender de

acuerdo a la curva de la demanda restante para alcanzar el porcentaje de RD, que se quiera alcanzar dentro de parámetros establecidos, que por incentivos se propone, el método empleado nuevamente es mediante asignación de recursos, bajo el método Simplex, sino que ahora ya no se asigna recursos de generación, por el contrario se asigna que carga se accionara de acuerdo al peso o la importancia que esta, ocupa dentro del hogar, de esa forma la curva de demanda que se miraba ante la empresa proveedora de energía eléctrica se trata de alterar.

La curva que se genera, es de acuerdo a un porcentaje, a partir de un algoritmo el cual da ranking a la demanda en determinado tiempo, en donde se clasifica y de acuerdo al porcentaje este se aumenta o se disminuye para modificar la curva de la demanda, esta curva es dato de entrada del algoritmo Simplex, para asignación de cargas o gestión de la demanda.

### 2.13 Pseudocódigo de respuesta a la demanda.

**Tabla 2:** Pseudocódigo de respuesta a la demanda en base a ranking.

---

#### ALGORITMO RESPUESTA A LA DEMANDA

---

**Paso 1:** Inicio y llamado a todos los módulos.

**Paso 2:** Llamada de dataset que contiene los datos de la demanda, inicializar variables.  
Data, data1, d1, d2

**Paso 3:** Generar ranking.  
Dataset = data.rank(método=mínimo)

**Paso 4:** Clasificar ranking en dos grupos, mayores y menores.  
Dataset1 = dataset1.donde(datos\_ranking<=10)  
Dataset2 = dataset2.donde(datos\_ranking>10)  
if Dataset1 > 10 then  
    datos\_ranking=0  
if Dataset2 <= 10 then  
    datos\_ranking=0

**Paso 3:** Definir pasos de porcentajes de respuesta a la demanda.  
for 0.05-0.20: i=i+0.05

**Paso 3.1:** Estimar un promedio.  
s1 = d1[‘Demanda’].sum()  
s1=s1/#datos

**Paso 3.2:** Unificar y distribuir respuesta a la demanda por ranking.  
if datos\_ranking >0 then  
    d1=d1+s1  
else  
    d1=0

**Paso 4:** Genera dataset de resultados para algoritmo Simplex.  
Datasetresultados=RD[‘DEM’]

**Paso 5:** Genera grafica de resultados.

**Paso 6:** Fin.

---

### 2.14 Internet de las cosas.

En [76], nos menciona que “Internet de las Cosas”, como tal se podrá dividir en varios grupos, el primero por el tipo de tecnología que se utiliza para comunicar equipos, el segundo, en la de un servicio de internet en la que se puede acceder a todos los elementos que compone, tanto medidores como actuadores, y la última como el uso de cierta tecnología para detectar nuevas oportunidades de negocio. Es decir, de manera concreta que, puede implicar el tema dentro de la parte eléctrica, puede llegar a ahorrar energía y de cierta manera mejorar la calidad de la misma. En [77], dice que debe existir una integración de dispositivos reales conectados entre sí al internet, a lo que se denomina “Internet de las cosas”, el cual debe estar controlado por un algoritmo para realizar gestión de la demanda, para tener de cierta manera, ahorro en energía eléctrica.

Sin embargo [78][79][80], la gestión de la demanda consiste en desconectar ciertas cargas, con lo que se desplaza los picos de carga que se dan, para lo cual, se realiza mediante el “Internet de las Cosas” y a la final, una respuesta a la demanda. Mediante el “Internet de las Cosas”, lo que se pretende es que millones de clientes se vinculen al

mercado, con comunicación en tiempo real, de cierta manera sea más accesible este tipo de ahorro.

### 3. Problema

Se propone para dar solución a la asignación de recursos, tanto en el lado de generación como en el lado de gestión de cargas o demanda, un método exacto que se basa en programación lineal pero en este caso mediante grafos, el que se denomina como método de resolución de red Simplex, el que nos permite maximizar la potencia que se entrega y se gestiona para que no exista desperdicio alguno, y se trate de mantener el confort de los usuarios, adicional a la parte de respuesta a la demanda, se propone un modelo en base a ranking para que este sirva como dato de entrada en el algoritmo de gestión de la demanda o carga, cabe recalcar que mediante este modelo se pretende controlar que dispositivo o carga se puede utilizar para completar la demanda predefinida en ese instante, y de esa manera apegarse a una curva óptima, el escenario que se presenta para la gestión de la demanda; es que en un bróker se realice el algoritmo Simplex y de esta manera se puedan controlar las cargas mediante comunicación MQTT, la cual hoy en día es tendencia para “Internet de las Cosas”. Para acercarse a los resultados esperados, normalmente se procede a utilizar las ecuaciones que caracterizan cada fuente de generación, pero en este caso se opta por apegarse más a la realidad, por lo que para cada fuente de generación se investiga modelos más precisos, en el caso de energía fotovoltaica georreferenciado [81] o como para el caso de la energía eólica, se procede a obtener datos o dataset reales de fuentes confiables que sirven para entrenar algoritmos de inteligencia artificial [82]. Para fuentes de generación restantes si se trabaja con modelos bajo las ecuaciones presentadas, de manera gráfica se puede

observar en la figura 9 lo que se menciona, que viene a ser los recursos disponibles. Por otro lado, se utiliza la librería NetworkX [83], para solución de la red mediante Simplex.

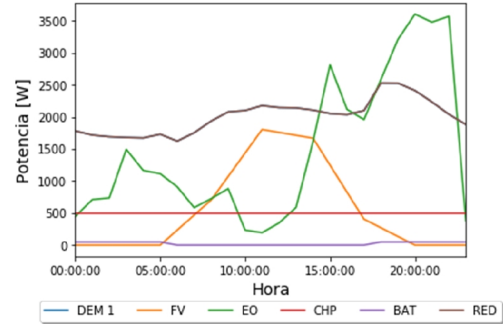


Figura 9. Recursos disponibles en un día [66].

Para definir los precios de generación nos fundamentamos en [84], por lo que se tiene la siguiente tabla.

Tabla 3: Precios de generación.

Tipo de gen.	Precio (USD/kWh)
Eólica	9.39
Fotovoltaica	52.04
Biogás	9.67
Geotérmica	9.28
Hidroeléctrica	5.80

Se realizará una carga estimada, y como se mencionó, se modelará los recursos que están disponibles en la micro-red, en un día, lo que se puede mirar en la figura 5, bajo energías renovables convencionales y no convencionales, la disponibilidad de la red y la carga y descarga del sistema de almacenamiento.

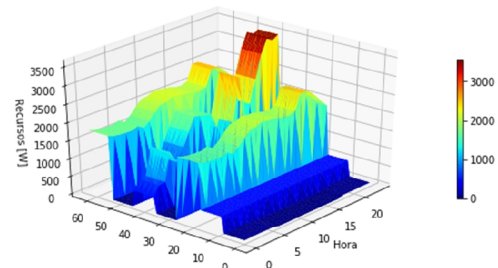


Figura 10. Concentración de recursos en un día [66].

Adicional se puede mirar en la figura 6, la concentración de recursos de una manera más clara, junto a la figura 7 que es un mapa de calor, para conocer qué tipo de recurso tiene mayor presencia ese día.

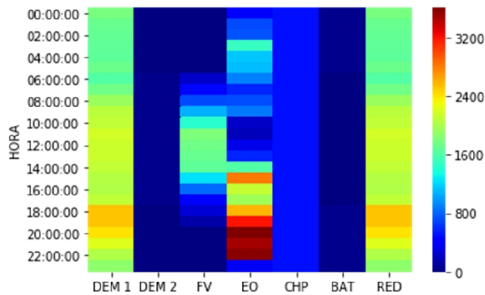


Figura 11. Mapa de calor de una concentración de recursos disponibles en un día [66].

## 4. Casos de estudio

El permanente incremento de los gases de efecto invernadero, el crecimiento industrial, desarrollo de nuevas tecnologías, el constante crecimiento poblacional; este conjunto de parámetros se reflejará en la constante expansión de la demanda de energía eléctrica residencial, la cual requiere que cada vez se aumente la generación, pero la parte económica, siempre estará inmersa, por lo que se propone un análisis con y sin mercado eléctrico.

### 4.1 Análisis con mercado eléctrico.

Lo que hace referencia es a predefinir dentro del algoritmo los pesos como precios para encontrar la generación más óptima desde el punto de vista económico y ambiental, es decir generar al menor costo posible para lo cual se contempla la red externa.

### 4.2 Análisis sin mercado eléctrico.

Al momento de dejar el mercado eléctrico, se pretende sacar el máximo flujo de potencia de todas las fuentes de generación de la micro-red por lo que los pesos que se definen en el algoritmo son extremadamente pequeños, capaz de obligar al modelo a asignar todos los

recursos dentro de la micro-red para abastecer la única demanda, y tratar de excluir a la red externa; en el caso de que se tenga excedentes en la micro-red poder evacuarlos a la misma.

### 4.3 Curva típica de la demanda diaria.

Es importante resaltar que durante el año existen variaciones con respecto a la curva de demanda residencial, pero el modelo al ser ejecutado cada intervalo de tiempo, se adaptara cada vez a una nueva condición, es decir que las perturbaciones por clima, no afectaran, por eso adicional se propone realizar una óptima respuesta a la demanda, para realizar en base al comportamiento de la demanda, un recorte o un aumento en la misma, mediante la gestión de carga.

### 4.4 Análisis con respuesta a la demanda.

Se requiere que cada vez se utilicen mejor los recursos de la micro-red y de esta manera, tratar de no depender de la red externa y así poder recuperar la inversión que se realiza en una micro-red, por lo que se propone introducir respuesta a la demanda la cual se varía en este análisis desde en un 5%, 10%, 15% y 20%.

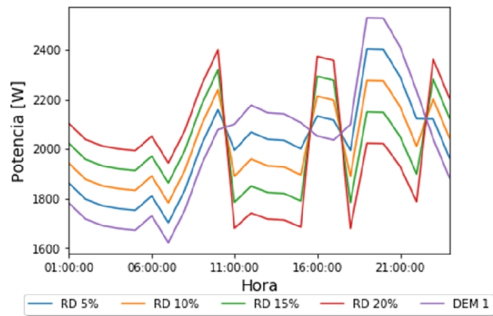
## 5. Análisis de Resultados

A continuación, se presentan los resultados de los escenarios definidos en el apartado: casos de estudio.

### 5.1 Escenario I.

Escenario donde se implementa respuesta a la demanda en base a porcentajes, estos se varían en pasos de 5% empezando desde la demanda típica, hasta alcanzar la respuesta a la demanda en un 20%, bajo estas condiciones se puede ver que en ciertas horas valle se generan pequeños picos, claro está, no al nivel de la demanda pico inicial, porque lo que se obtiene es una redistribución de la demanda; como método ranking empleado, este proyectara de una mejor

manera la demanda, así ahorrar recursos para la red del usuario final, sin generar mayor malestar al usuario, en este escenario aún no se interviene con las distintas fuentes de generación o asignación de recursos, el resultado se presenta en la figura 8.



**Figura 12.** Aplicación de Respuesta a la Demanda desde 5% al 20%.

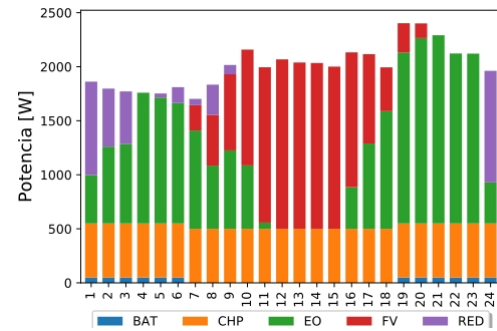
En base a la aplicación de la respuesta a la demanda se generan cuatro escenarios adicionales en donde se mirará como la respuesta de la demanda influye en la asignación de los recursos.

## 5.2 Escenario II.

El escenario II, se generara a partir de una inyección de respuesta a la demanda del 5%, además, que en base a este escenario se comenzara a dar la asignación de recursos en donde se tiene centrales del tipo convencionales y no convencionales, que comprende la micro-red, además de contar con sistemas de almacenamiento los cuales, también se toma en cuenta, el comportamiento cuando se cargan y estos van a consumir de la micro-red, como cuando se descargan y aportan a la micro-red, se presenta en orden de cómo se va asignando, lo cual se representa de forma gráfica en la figura 9.

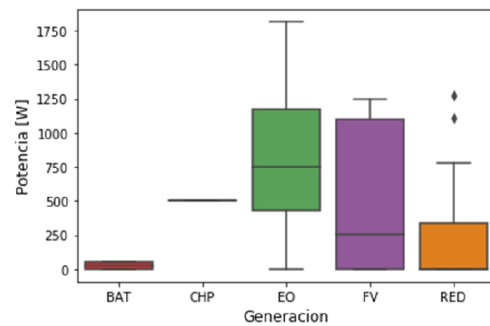
De manera general se puede observar una transición en todo el día de mayor presencia de energía eólica y fotovoltaica, además que en este escenario el algoritmo asigna la red externa en menor proporción para

alimentar la carga, lo cual en este escenario es óptimo.



**Figura 13.** Asignación de recursos en base a Respuesta a la Demanda al 5%.

Por otro lado, se realiza un análisis más exhaustivo para cada tipo de respuesta a la demanda, lo cual consiste en generar diagramas de cajas, para de esta manera observar cuanto está aportando como mínimo y máximo cada fuente de generación, y de esta manera determinar con cuanto está interviniendo la red externa por cada respuesta a la demanda.

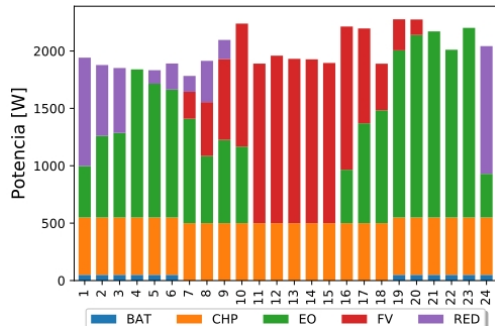


**Figura 14.** Presencia de los Diferentes Tipos de Generación, Respuesta a la Demanda 5%.

Se puede observar en la figura 10, la cual pertenece a una respuesta a la demanda de un 5%, que aún existe una presencia considerable de la red externa alimentando las cargas, con respecto a las fuentes de generación restantes su presencia es bastante considerable.

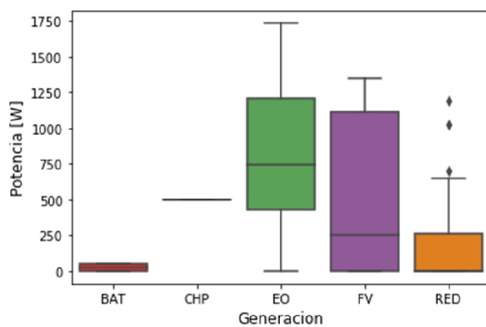
## 5.3 Escenario III.

En el escenario III, de igual manera se realiza la asignación de recursos, por lo que, se toma la misma cantidad de recursos que en el escenario II, y se tomara en cuenta, una respuesta a la demanda en aumento del 5% al 10%, se presenta la solución de manera gráfica en la figura 11.



**Figura 15.** Asignación de recursos en base a Respuesta a la Demanda al 10%.

Se puede rescatar de este resultado que, al aumentar la respuesta a la demanda, los puntos de demanda en cada intervalo se comienzan a igualar, lo que quiere decir, es que se trata de aplanar la curva de la demanda, no de una manera exagerada, ya que lo que se requiere es apegarse a la realidad, adicional, en el intervalo 11, ya no se logra asignar energía eólica en ciertos intervalos de tiempo, puesto que la respuesta a la demanda es mayor.



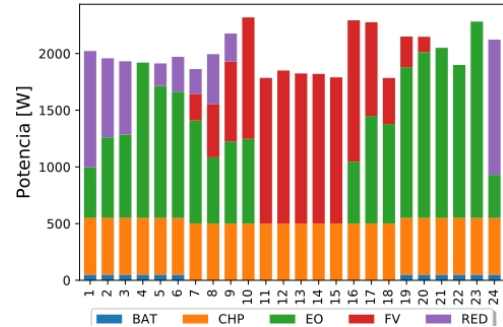
**Figura 16.** Presencia de los Diferentes Tipos de Generación, Respuesta a la Demanda 10%.

Por lo que corresponde a la proporción de participación de las fuentes de generación en el presente escenario, respuesta a la demanda 10%

(Figura 12); se puede observar que existe una leve disminución de la participación de la red con respecto al escenario II.

#### 5.4 Escenario IV.

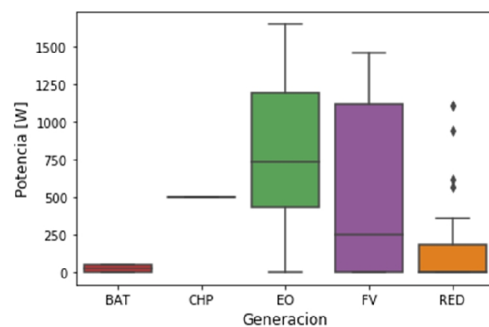
Se presenta un escenario similar al anterior, pero la respuesta a la demanda pasa del 10% al 15%, lo que se puede observar, en la siguiente representación gráfica, figura 13.



**Figura 17.** Asignación de recursos en base a Respuesta a la Demanda al 15%.

Se puede observar que los puntos de demanda, no se siguen igualando, por lo que se puede decir que el aplanamiento de la curva de la demanda tentativamente se dará con el 10%, todo dependerá de lo que se observe en el escenario V.

La proporción de participación de las fuentes de generación en el presente escenario, respuesta a la demanda 15% (Figura 14); se puede observar nuevamente, que existe una disminución de la participación de la red con respecto al escenario III.



**Figura 18.** Presencia de los Diferentes Tipos de Generación, Respuesta a la Demanda 15%.

### 5.5 Escenario V.

Se tiene un escenario en donde se inyecta una respuesta a la demanda del 20%, el cual se determinara en estos casos de estudio como máximo y factible, la solución se la presenta en la figura 15.

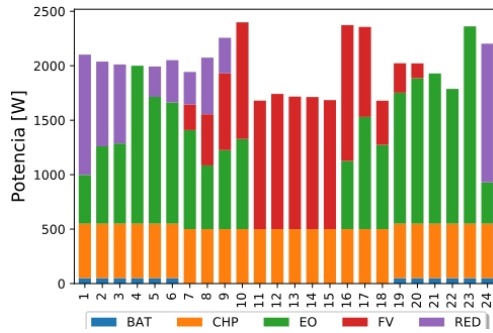


Figura 19. Asignación de recursos en base a Respuesta a la Demanda al 20%.

Como sucede en el escenario III, no se asigna energía eólica en cuatro intervalos (12, 13, 14, 15), y de igual manera sucede en los otros escenarios, claro está a excepción del segundo escenario, lo que quiere decir es que, aumentando la respuesta a la demanda, la carga será menos dependiente de la generación, así mismo de la red externa, por lo que ese excedente puede llegar a entregar en vez de consumir en ese intervalo de tiempo.

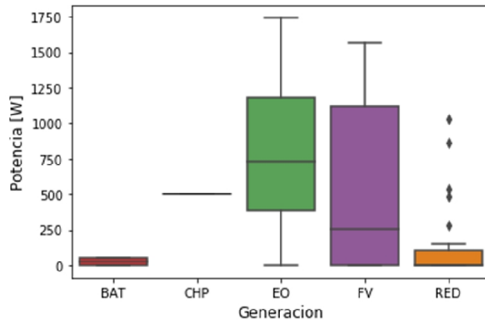


Figura 20. Presencia de los Diferentes Tipos de Generación, Respuesta a la Demanda 20%.

Finalmente, dados los anteriores casos, se puede notar que la participación de la red, va disminuyendo conforme la respuesta a la demanda se va

incrementando, se puede ver la solución con una respuesta a la demanda del 20%, figura 16.

Es importante conocer que tan desviada se encuentra nuestra solución, de la curva de demanda típica, es decir, saber si en realidad estaremos consumiendo de la red externa o no, si el modelo implementado es óptimo, por lo que se ha realizado la comparación descrita, y se presenta en la figura 17.

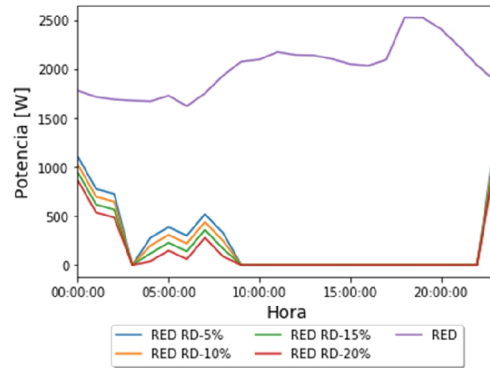
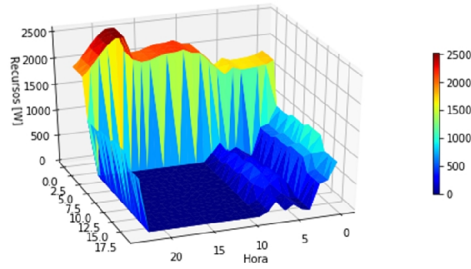


Figura 21. Curvas optimas de Asignación de Recursos y Diferentes Valores de Respuesta a la Demanda.

Podemos observar que las soluciones para los distintos porcentajes de respuesta a la demanda y las diferentes asignaciones de recursos son óptimas, en algunos casos superan las expectativas, ya que cuando estas curvas pasan hasta cero quiere decir que no existirá consumo de la red externa y llega el punto donde se puede aportar con esa energía producida a la red externa, y de esa manera recuperar en menor tiempo, la inversión que implica una micro-red.

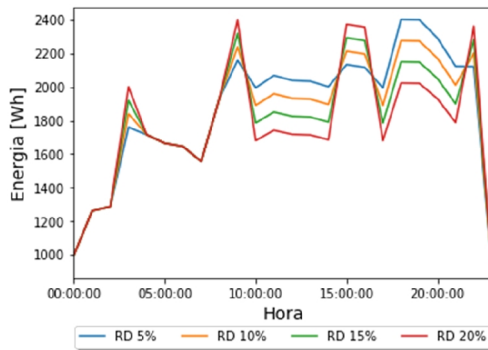
Adicional se ha generado una representación tridimensional (Figura 18), para observar donde existe mayor concentración cuando tenemos asignación de recursos junto con respuesta a la demanda en comparación con la curva de carga modelo, cabe recalcar que en respuesta a la demanda se encuentra inmerso la gestión de la misma.





**Figura 22.** Concentración de curvas óptimas de asignación de recursos y diferentes valores de Respuesta a la Demanda.

Es necesario aclarar que aun con respuesta a la demanda y gestión de la misma, existen intervalos de tiempo donde es necesaria la presencia de la red, ya que las fuentes de energía no son constantes.

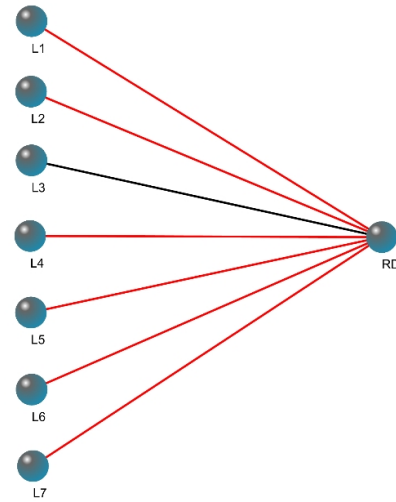


**Figura 23.** Curvas de Energía Según las Diferentes Respuestas a la Demanda Propuesta en Donde el Usuario Ahorra.

La energía que el usuario, como tal puede llegar a ahorrar (Figura 19), se logra por ciertos intervalos de tiempo, hasta en un 100%.

Por otro lado, podemos observar en un intervalo de tiempo, la solución de la gestión de las cargas, la misma que se representa mediante el grafo (Figura 20), se propone un escenario con varias cargas, y Simplex asignara las que tienen menos peso, las cuales son de mayor importancia. L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, son un conjunto de cargas, de las cuales como resultado se tiene que en ese intervalo no se podrá utilizar la carga L3,

para poder llegar a la respuesta a la demanda que se requiere en ese instante.



**Figura 24.** Grafo Bipartito con Solución Óptima de Gestión de Cargas.

## 6. Conclusiones

Los resultados que se han generado nos permite concluir, que si se emplea el modelo correcto tanto de asignación de recursos, asignación de la demanda en conjunto con respuesta a la demanda, por la mayoría de intervalos de tiempo se tienen resultados muy prometedores; demandas que se vuelven dependientes de la generación de su micro-red, y a su vez que generen para la red externa, intervalos de tiempo donde el consumo de energía de la red exterior, se disminuye hasta el 0% y el mayor consumo se presenta hasta en un 20% de lo que normalmente consumía la demanda modelo, diferencias muy marcadas entre los porcentajes de la respuesta a la demanda. Asignación de recursos óptima, donde, se asignaba el 100% de lo que se generaba, maximizando las potencias generadas y evitando pérdidas y minimizando costos.

## 7. Trabajos Futuros

Para trabajos futuros se recomienda implementar algoritmos de inteligencia artificial, capaces de predecir las demandas y poder realizar la asignación

de los recursos, ir generando los datos de forma previa, por los cuales se pueden ir analizando los diferentes comportamientos, y así estudiar si se necesita una mayor presencia de generación o se puede dar mayor energía a la red externa, además de predecir condiciones climáticas para tomar decisiones de forma oportuna.

## 8. Referencias

- [1] P. K. Steimer, "Power Electronics , a Key Technology for Energy Efficiency and Renewables," 2008.
- [2] L. I. D. U. L. Ñ. U, "Automation of a Distributed Generation System," pp. 1–5, 2014.
- [3] S. Pullins, "Why microgrids are becoming an important part of the energy infrastructure," no. xxxx, 2019.
- [4] E. M. Garcia Torres, A. Aguila, I. Isaac, J. W. Gonzalez, and G. Lopez, "Analysis of Voltage Profile to determine Energy Demand using Monte Carlo algorithms and Markov Chains (MCMC)," *Power Eng. Conf. (UPEC), 2016 51st Int. Univ.*, no. Mcmc, pp. 1–6, 2016.
- [5] I. Kim, M. Begovic, H. Jeong, and J. Crittenden, "Impact of Photovoltaic Distributed Generation on Generation Resource Allocation," 2013.
- [6] J. Yuan, "A Real-Time Balancing Market Clearing Model for Grid-Connected Micro-grid Including Energy Storage System," pp. 32–36, 2015.
- [7] C. Schw and L. Tao, "Microgrid: Architectures and Control," pp. 1–24, 2014.
- [8] P. Moreno and E. M. Garcia Torres, "Respuesta a la Demanda para Smart Home Utilizando Procesos Estocásticos," *I+D Tecnológico*, vol. 12, 2016.
- [9] J. Lin and S. Member, "Issues and Challenges in Smart-Grid Market Operation and Simulation," pp. 1–4, 2011.
- [10] A. Artieda and E. M. Garcia Torres, "Optimización de tarifas de energía eléctrica para una respuesta a la demanda por medio de programación lineal," Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [11] E. M. Garcia, I. Amin, I. Millan, J. Gonzales, and G. Lopez, "Efficient scheme model for electric power tariffs with distributed generation , based on demand response," in *FISE - IEEE/CIGRE CONFERENCE 2019*, 2019.
- [12] H. Karimianfard and H. Haghghat, "Generic Resource Allocation in Distribution Grid," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. PP, no. 1, p. 1, 2018.
- [13] P. D. J. Topon and E. M. Garcia Torres, "Modelamiento Para El Almacenamiento Y Aporte De Energía a La Red En Horas Pico De Demanda Mediante Un Prototipo," 2015.
- [14] G. P. Duggan and P. M. Young, "A Resource Allocation Model for Energy Management Systems," pp. 1–3, 2012.
- [15] C. A. Vicente Sarango and E. M. Garcia Torres, "Gestión y optimización del consumo de energía eléctrica residencial usando series de tiempo," Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [16] C. Wilson, T. Hargreaves, and R. Hauxwell-baldwin, "Benefits and risks of smart home technologies," vol. 103, no. September 2016, pp. 72–83, 2017.
- [17] X. Fan, B. Qiu, Y. Liu, H. Zhu,

- and B. Han, "Energy Visualization for Smart Home," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 2545–2548, 2017.
- [18] B. Chifor, I. Bica, V. Patriciu, and F. Pop, "A security authorization scheme for smart home Internet of Things devices," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 86, pp. 740–749, 2018.
- [19] R. Dhaouadi and A. Zainaldain, "Smart Home Gateway for Smart Grid," pp. 90–93, 2011.
- [20] G. Muhammad, "IoT Big Data Analytics for Smart Homes with Fog and Cloud Computing," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, 2018.
- [21] L. Valle, "Guia Practica de Proyectos Domoticos y del IOT.," 2018
- [22] T. H. E. Beginning, O. F. The, A. S. History, O. F. The, and I. Of, "The Internet of Things," pp. 63–68, 2015.
- [23] X. Yi, M. Zhou, and J. Liu, "Design of Smart Home Control System by Internet of Things based on ZigBee," pp. 128–133, 2016.
- [24] J. S. V C, V. Hareesh, and M. G. Nair, "Integration of Demand Response with Prioritized Load Optimization for Multiple Homes," *2017 Int. Conf. Technol. Adv. Power Energy (TAP Energy)*, pp. 1–6, 2017.
- [25] J. Chalco and E. M. Garcia Torres, "Optimización multiobjetivo del consumo eléctrico basado en la respuesta a la demanda," Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [26] C. Technology, "One type of smart meter with demand control Local demand response with smart meter," pp. 2–5, 2014.
- [27] Q. Duan, "A Price-Based Demand Response Scheduling Model in Day-Ahead Electricity Market," no. 201411159052, 2016.
- [28] G. Ayala and M. Garcia, Torres, Edwin, "Respuesta de la demanda eléctrica basado en el modelo Markoviano," Universidad Politecnica Salesiana, 2016.
- [29] S. Kang *et al.*, "REGIONAL GENERATION CHARACTERISTICS OF MW PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS IN JEJU ISLAND," pp. 52–55, 2018.
- [30] W. Ben Abdessalem, "MAREM: a Multi-Agent System For Renewable Energy Management," 2014.
- [31] G. R. Jauregui Mendez and E. M. Garcia Torres, "Programación de recursos para una óptima respuesta a la demanda por la penetración de energía renovable en micro-redes," Universidad Politecnica Salesiana, 2018.
- [32] L. Province, L. Province, L. Province, S. Vision, A. Identification, and L. Province, "Research on Maximum Wind Energy Capture Control Strategy," pp. 34–37, 2010.
- [33] J. P. Lyons, S. M. Ieee, M. C. Robinson, P. Veers, and R. W. Thresher, "Wind Turbine Technology – The Path to 20 % US Electrical Energy," pp. 1–4, 2008.
- [34] W. Linjun, L. Yan, C. Yongning, W. Zhen, and B. Hong, "Research on Market Mechanism of Wind Power Accommodation Based on Power Bidding," no. Powercon, pp. 20–22, 2014.
- [35] Z. Zeng, H. Yi, F. Wang, F. Zhuo, and Z. Wang, "System for Restraining the Photovoltaic

- Power Fluctuations and Suppressing the Low Frequency Oscillations of Power System,” pp. 0–4, 2016.
- [36] S. Zhang, Qianwen; Wang, Meng; Wang, Xiuli; Tian, “Mid-long Term Optimal Dispatching Method of Power System With Large-scale Wind-Photovoltaic-Hydro Power Generation,” 2017.
- [37] W. Yibo, I. Member, and X. Honghua, “Research and Practice of Designing Hydro / Photovoltaic Hybrid Power System in Microgrid,” pp. 1509–1514, 2013.
- [38] S. Haviv, N. Revivo, N. Kruger, and C. Rotschild, “Luminescent Solar Power – Quantum separation between free-energy and heat for cost-effective base-load solar energy generation,” *2019 Conf. Lasers Electro-Optics Eur. Eur. Quantum Electron. Conf.*, p. 1, 2019.
- [39] E. M. M. I. Rico, Amparo; Romero, “Power Injection Control System and Experimental Model based on Manufacturer Characteristic Curves for a Photovoltaic Generation System,” no. 2, 2007.
- [40] E. Meza, Jhonatan; Garcia, “Optima Asignacion de Recursos Energetivos para Respuesta de la Demanda por Vehiculos Electricos Usando Algoritmo Hungaro,” 2018.
- [41] M. Pereira, D. Limon, T. Alamo, L. Valverde, and C. Bordons, “Economic Model Predictive Control of a smartgrid with hydrogen storage and PEM fuel cell .,” no. November, pp. 7920–7925, 2013.
- [42] M. Garcia, Torres, Edwin and I. Isaac, “Demand response systems for integrating energy storage batteries for residential users,” in *Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), IEEE*, 2016.
- [43] S. Kiray, Vedat;Demir, “Analysis of Storage Energy Usage in Residential Areas With Regard to Smartgrids and Natiaonal Economy,” 2015.
- [44] J. Viera, *CARGA RÁPIDA DE BATERÍAS DE Ni-Cd Y Ni-MH DE MEDIA Y GRAN CAPACIDAD. ANÁLISIS, SÍNTESIS Y COMPARACIÓN DE NUEVOS MÉTODOS*. 2003.
- [45] G. Pebriyanti, “A Lithium-ion Battery Modeling For A HIL-Battery Simulator,” pp. 185–190, 2013.
- [46] S. Mae, C. Ang, E. S. Fraga, N. P. Brandon, N. J. Samsatli, and D. J. L. Brett, “Fuel cell systems optimisation e Methods and strategies,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 22, pp. 14678–14703, 2011.
- [47] H. R. Ellamla, I. Staffell, P. Bujlo, and B. G. Pollet, “Current status of fuel cell based combined heat and power systems for residential sector,” *J. Power Sources*, vol. 293, pp. 312–328, 2015.
- [48] M. Abunku and W. J. C. Melis, “Modelling of a CHP System with Electrical and Thermal Storage,” pp. 4–8.
- [49] D. Xie, A. Chen, C. Gu, and J. Tai, “Time - domain Modelling of Grid - connected CHP for its Interaction with the Power Grid,” vol. 8950, no. c, 2018.
- [50] X. Liu, P. Wang, and P. C. Loh, “A Hybrid AC / DC Microgrid and Its,” vol. 2, no. 2, pp. 278–286, 2011.
- [51] J. L. Espinoza, L. G. González, and R. Sempértegui, “Micro grid Laboratory as a Tool for Research on Non-Conventional

- Energy Sources in Ecuador,” no. Ropec, 2017.
- [52] J. Wentzel, T. S. Ustun, C. Ozansoy, and A. Zayegh, “Investigation of Micro-Grid Behavior While Operating Under Various Network Conditions,” pp. 27–29, 2012.
- [53] Z. Chen, K. Wang, Z. Li, and T. Zheng, “A Review on Control Strategies of AC / DC Micro Grid,” 2017.
- [54] E. Marcelo and G. Torres, “Gestión Energética en Micro-Redes basado en la Optima Respuesta de la Demanda por Precio Real de la Energía Energy Management in Micro Grids based on the Optima Demand Response by Real Price of Energy,” in *Proceedings - 4rd International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2019*, 2019.
- [55] F. M. Shakeel, “Vehicle-To-Grid Technology in a Micro-grid Using DC Fast Charging Architecture,” *2019 IEEE Can. Conf. Electr. Comput. Eng.*, pp. 1–4, 2019.
- [56] V. Vergara and E. M. Garcia Torres, “Optima gestión de la demanda para estaciones de recarga de vehiculos eléctricos en Micro-Redes Inteligentes,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [57] “Diseño e implementacion de Smart-Girds y Micro-Redes.” [Online]. Available: <http://solucionesenergia.com/>.
- [58] T. Sousa, T. Pinto, H. Morais, S. Member, Z. Vale, and S. Member, “Intelligent Electric Vehicle Heuristic for Energy Resource Management using Simulated Annealing,” pp. 1–8, 2012.
- [59] J. F. Meza Cartagena and E. M. Garcia Torres, “Asignación de recursos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicios basado en la respuesta a la demanda,” *I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. 66–73, 2018.
- [60] G. Li and D. Görges, “Ecological Adaptive Cruise Control and Energy Management Strategy for Hybrid Electric Vehicles Based on Heuristic Dynamic Programming,” pp. 1–10, 2018.
- [61] D. Jarrín and E. M. Garcia Torres, “Gestión energética para una óptima respuesta a la demanda en micro redes inteligentes,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [62] T. A. Nguyen, M. L. Crow, and I. Fellow, “Optimization in Energy and Power Management for Renewable-Diesel Microgrids Using Dynamic Programming Algorithm,” pp. 11–16, 2012.
- [63] U. A. Del, D. R. A. En, and C. K. Valencia, “INTRODUCCIÓN AL MÉTODO SIMPLEX : FORMA TABULAR PASO A PASO,” 2015.
- [64] K. Thulasiraman, S. Arumugam, A. Brandstädt, and T. Nishizeki, “Handbook of Graph Theory , Combinatorial Optimization , and Algorithms,” 2016.
- [65] Z. K. P. Kiraly, “Efficient implementations of minimum-cost flow algorithms,” vol. 1, pp. 67–118, 2012.
- [66] J. Campoverde, “ImagenesArticulo.pdf.” Quito, 2019.
- [67] J. Meza, “Comparacion de un metodo exacto y algoritmos evolutivos en un problema de flujo maximo,” 2017.
- [68] J. Villalpando, *Matematicas*

- Discretas*. 2014.
- [69] E. N, Pavithra; Priya, “Residential Demand Response using Genetic Algorithm,” no. 1, pp. 1–4, 2017.
- [70] E. M. Garcia and I. Isaac, “Optimal demand response for the recharging of electric vehicles in micro-networks type of service station by allocation of energy resources,” *Proc. - 3rd Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci. INCISCOS 2018*, vol. 2018–Decem, pp. 150–157, 2018.
- [71] E. Toro and E. M. Garcia Torres, “Óptima Respuesta a La Demanda Basado En Localización De Recursos En Redes Eléctricas Inteligentes Aisladas,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [72] X. Jie, K. Xiangyu, K. Deqian, and Z. Yusen, “Analysis on The Implementation Model of Tianjin’s Winter Demand Response,” *2018 China Int. Conf. Electr. Distrib.*, no. 201805280000385, pp. 2979–2983, 2018.
- [73] B. Benalcazar and E. M. Garcia Torres, “Óptima Respuesta a La Demanda Para Estaciones De Carga De Vehículos Eléctricos Con Alta Incertidumbre Considerando El Perfil De Voltaje En La Red De Distribución,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [74] M. Dong, S. Tian, B. Jia, B. Li, and B. Qi, “Research and Development of Automated Demand Response Standard System,” *2017 2nd Int. Conf. Power Renew. Energy*, pp. 608–611, 2017.
- [75] E. M. Garcia Torres, B. D. Benalcazar Lopez, and I. M. Idi Amin, “Analysis of the Voltage Profile by the Insertion of Electric Vehicles in the Distribution Network Considering Response to Demand,” *2017 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 7–13, 2017.
- [76] A. K. Arya, “Smart Energy Controller for Energy management using IOT with Demand Response,” *2018 IEEE 8th Power India Int. Conf.*, pp. 1–6, 2018.
- [77] L. Barbierato *et al.*, “A Distributed IoT Infrastructure to Test and Deploy Real-Time Demand Response in Smart Grids,” *IEEE Internet Things J.*, vol. PP, no. 8, p. 1, 2018.
- [78] H. Mortaji, S. H. Ow, M. Moghavvemi, H. A. F. Almurib, and S. Ieee, “Load Shedding and Smart-Direct Load Control Using Internet of Things in Smart Grid Demand Response Management,” vol. 9994, no. c, 2017.
- [79] B. Oña and E. M. Garcia Torres, “Uso eficiente del consumo de energía eléctrica residencial basado en el método Montecarlo,” Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [80] E. M. Garcia Torres and I. Isaac, “Multi-objective optimization for the management of the response to the electrical demand in commercial users,” *INCISCOS 2017 - Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 14–20, 2017.
- [81] M. Holmgren, William; Hansen, Clifford; Mikofski, “pvlb python: a python package for modeling solar energy systems.,” *J. Open Source Softw.*, 2018.
- [82] B. Erisen, “2018 Scada Data of a Wind Turbine in Turkey,” 2019. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/berkerisen/wind-turbine-scada-dataset>.

- [83] A. Hagberg, D. Schult, and P. Swart, “NetworkX Reference,” 2019.
- [84] “Regulación No. CONELEC - 004/08 Página 1 de 7,” pp. 1–7, 2006.

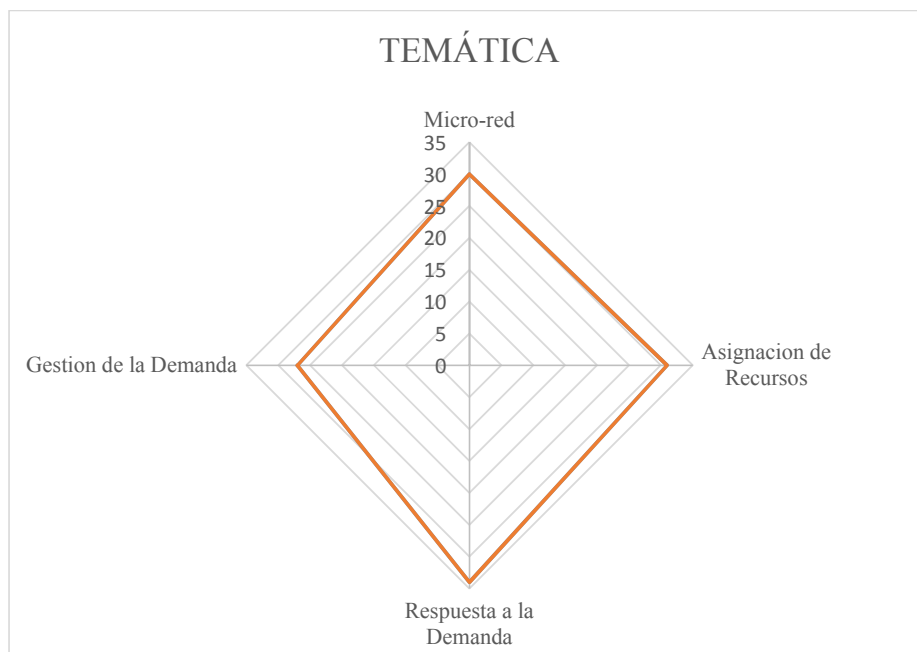
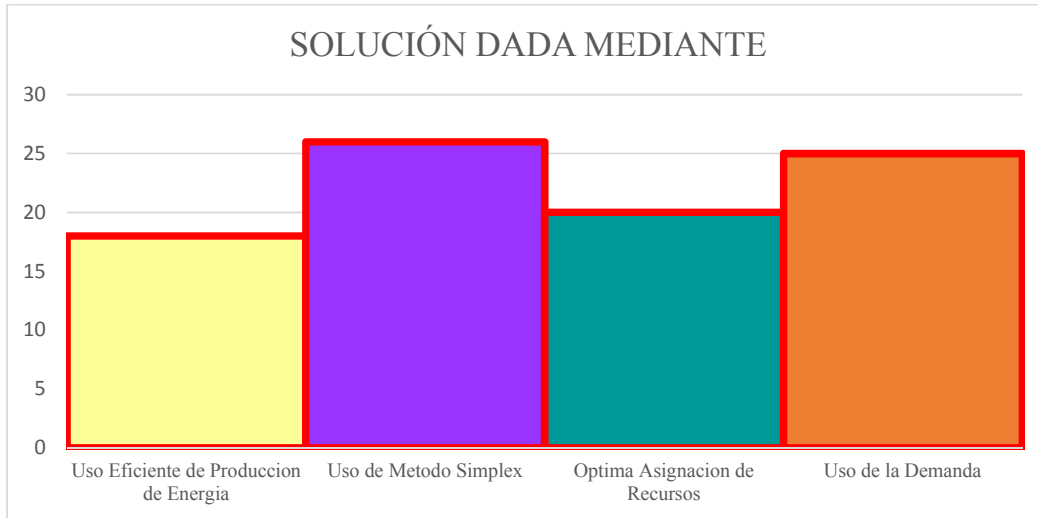
## 9. Estado del Arte

GESTION DE LA DEMANDA ELECTRICA MEDIANTE MODELOS BIPARTITOS PARA UNA OPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA EN USUARIOS RESIDENCIALES																					
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Micro-red	Asignación de Recursos	Respuesta a la Demanda	Gestión de la Demanda	Asignación de recursos	Maximización de potencia	Minimización de Pesos	Método Respuesta Demanda	Gestión de la Demanda	Pesos	Capacidad de Producción	Modelo Simplex	Maximización Potencia	Método Exacto	Uso Eficiente de Producción de Energía	Uso de Método Simplex	Óptima Asignación de Recursos	Uso de la Demanda
1	2018	REGIONAL GENERATION CHARACTERISTICS OF MW PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS IN JEJU ISLAND	1	☒	☒	☒		☒	☒				☒	☒		☒		☒	☒		
2	2018	MA-REM : a Multi-Agent System For Renewable Energy Management	1	☒	☒	☒		☒	☒			☒		☒							
3	2018	Programación de recursos para una óptima respuesta a la demanda por la penetración de energía renovable en micro-redes	1	☒	☒			☒						☒					☒	☒	
4	2010	Research on Maximum Wind Energy Capture Control Strategy	0	☒	☒			☒	☒					☒				☒		☒	
5	2008	Wind Turbine Technology – The Path to 20 % US Electrical Energy	0	☒	☒			☒	☒					☒					☒	☒	
6	2014	Research on Market Mechanism of Wind Power Accommodation Based on Power Bidding	47	☒	☒	☒			☒											☒	
7	2016	System for Restraining the Photovoltaic Power Fluctuations and Suppressing the Low Frequency Oscillations of Power System	0	☒	☒			☒				☒									
8	2017	Mid-long Term Optimal Dispatching Method of Power System With Large-scale Wind-Photovoltaic-Hydro Power Generation	348	☒	☒			☒	☒			☒						☒	☒	☒	
9	2013	Research and Practice of Designing Hydro / Photovoltaic Hybrid Power System in Microgrid	0	☒	☒	☒		☒	☒				☒	☒	☒			☒			
10	2019	Luminescent Solar Power – Quantum separation between free-energy and heat for cost-effective base-load solar energy generation	16	☒	☒	☒		☒	☒				☒	☒	☒	☒		☒			
11	2007	Power Injection Control System and Experimental Model based on Manufacturer Characteristic Curves for a Photovoltaic Generation System	0	☒	☒	☒		☒	☒				☒			☒		☒			



12	2018	Optima Asignacion de Recursos Energetivos para Respuesta de la Demanda por Vehiculos Electricos Usando Algoritmo Hungaro	0	✗	✗	✗	✗	✗					✗					✗	✗	✗
13	2013	Economic Model Predictive Control of a smartgrid with hydrogen storage and PEM fuel cell	0	✗	✗	✗		✗			✗		✗					✗		✗
14	2016	Demand response systems for integrating energy storage batteries for residential users	0	✗	✗	✗	✗	✗			✗		✗					✗	✗	✗
15	2015	Analysis of Storage Energy Usage in Residential Areas With Regard to Smartgrids and Natiaonal Economy	0	✗	✗			✗			✗		✗	✗						
16	2003	CARGA RÁPIDA DE BATERÍAS DE Ni-Cd Y Ni-MH DE MEDIA Y GRAN CAPACIDAD. ANÁLISIS, SÍNTESIS Y COMPARACIÓN DE NUEVOS MÉTODOS	3		✗	✗		✗			✗		✗		✗			✗	✗	✗
17	2013	A Lithium-ion Battery Modeling For A HiL-Battery Simulator	0	✗	✗			✗			✗		✗					✗		
18	2011	Fuel cell systems optimisation e Methods and strategies	0	✗	✗			✗	✗		✗	✗						✗		
19	2015	Current status of fuel cell based combined heat and power systems for residential sector	176	✗	✗	✗		✗			✗	✗						✗		✗
20	2018	Modelling of a CHP System with Electrical and Thermal Storage	0	✗	✗	✗	✗	✗			✗	✗		✗				✗		✗
21	2018	Time - domain Modelling of Grid - connected CHP for its Interaction with the Power Grid	0	✗	✗	✗	✗				✗		✗					✗	✗	✗
22	2011	A Hybrid AC / DC Microgrid and Its	0	✗			✗					✗								✗
23	2017	Micro grid Laboratory as a Tool for Research on Non-Conventional Energy Sources in Ecuador	18	✗	✗	✗	✗					✗						✗		✗
24	2012	Investigation of Micro-Grid Behavior While Operating Under Various Network Conditions	14	✗	✗	✗	✗					✗						✗		✗
25	2017	A Review on Control Strategies of AC / DC Micro Grid	23		✗	✗	✗					✗						✗	✗	✗
26	2019	Gestión Energética en Micro-Redes basado en la Optima Respuesta de la Demanda por Precio Real de la Energía Energy Management in Micro Grids based on the Optima Demand Response by Real Price of Energy	0			✗	✗		✗			✗						✗		✗
27	2019	Vehicle-To-Grid Technology in a Micro-grid Using DC Fast Charging Architecture	5	✗	✗	✗		✗						✗				✗	✗	
28	2017	Optima gestión de la demanda para estaciones de recarga de vehículos eléctricos en Micro-Redes Inteligentes	0		✗		✗		✗		✗			✗				✗		✗
29	2012	Intelligent Electric Vehicle Heuristic for Energy Resource Management using Simulated Annealing		✗	✗		✗	✗										✗		
30	2018	Asignación de recursos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicios basado en la respuesta a la demanda			✗	✗		✗		✗		✗						✗		
31	2018	Ecological Adaptive Cruise Control and Energy Management Strategy for Hybrid Electric Vehicles Based on Heuristic Dynamic Programming			✗	✗		✗	✗	✗		✗	✗	✗	✗	✗		✗		✗
32	2017	Gestión energética para una óptima respuesta a la demanda en micro redes inteligentes			✗	✗	✗	✗	✗	✗			✗	✗	✗			✗		✗
33	2012	Optimization in Energy and Power Management for Renewable-Diesel Microgrids Using Dynamic Programming Algorithm			✗	✗		✗	✗				✗		✗	✗		✗		
34	2015	INTRODUCCIÓN AL MÉTODO SIMPLEX : FORMA TABULAR PASO A PASO			✗		✗		✗		✗		✗	✗	✗	✗		✗		✗





# FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

