

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA**

**AUTOR:
HENRY ALEXANDER SANTILLAN MORENO**

**TUTOR:
LUIS FERNANDO TIPAN VERGARA**

Quito, 9 de agosto del 2017

Henry Alexander Santillán Moreno

OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2017

Ingeniería Eléctrica

Reseña de autores e información de contacto:



Henry Alexander Santillán Moreno (Y'1992, J'22) nació en Quito, Ecuador, el 22 de junio de 1992. Se graduó de bachiller con especialización Físico Matemático en el Colegio Técnico Experimental de Aviación Civil, Ecuador 2010. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo consiste en realizar una optimización multiobjetivo del consumo de energía eléctrica basada en la programación de la demanda dentro de un usuario de tipo industrial.



Luis Fernando Tipán Vergara (Y'1982, J'21) nació en Quito, Ecuador, el 21 de junio de 1982. Se graduó de la Facultad de Ingeniería Eléctrica Como Ingeniero en Electrónica en Control en la Escuela Politécnica Nacional. Sus estudios de postgrado los hizo en la Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Mecánica, obteniendo el grado de Magister en eficiencia.

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

2017 Universidad Politécnica Salesiana
Quito-Ecuador

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*Optimización Multiobjetivo del Consumo de Energía Eléctrica Basado en la Programación de la Demanda*” realizado por Henry Alexander Santillán Moreno, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, 9 de agosto del 2017



.....

Luis Fernando Tipán Vergara

Cédula de identidad: 1717329005

Cesión de derechos de autor

Yo Henry Alexander Santillán Moreno, con documento de identificación N° 1720218526, 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: “*Optimización Multiobjetivo del Consumo de Energía Eléctrica Basado en la Programación de la Demanda*”, 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 impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Henry Alexander Santillán Moreno

Cédula: 1720218526

Fecha: 9 de agosto del 2017

ÍNDICE GENERAL

Abstract	4
1. Introducción	5
2. Programas de Respuesta a la Demanda (PRD)	6
2.1 Mecanismos de Tarifas de precios en tiempo real	7
2.2 Mecanismos de Tarifas de precios de tiempos de uso	8
3. Formulación del Problema	8
3.1 Optimización Multiobjetivo	8
3.2 Método de las ε -restricciones	9
3.3 Indicadores de Producción	9
4. Resolución del Problema.....	9
4.1 Mediciones de Potencia Eléctrica	9
4.2 Distribución de Programa de Respuesta a la Demanda Eléctrica	10
4.3 Programa de Respuesta a la Demanda	10
5. Análisis de Resultados	12
6. Conclusiones	14
7. Referencias.....	15
7.1 Estado del arte	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Respuesta a la demanda	6
Figura 2. Analizador de red.....	9
Figura 3. Arquitectura del sistema de respuesta a la demanda eléctrica.....	10
Figura 4. Distribución de procesos.....	10
Figura 5. Consumo eléctrico Proceso 1,2	10
Figura 6. Consumo eléctrico Proceso 3,4	11
Figura 7. Consumo eléctrico Proceso 5	11
Figura 8. Proceso 1.....	12
Figura 9. Proceso 2.....	12
Figura 10. Proceso 3.....	13
Figura 11. Proceso 4.....	13
Figura 12. Proceso 5.....	13
Figura 13. Sin optimización de Cargas	13
Figura 14. Optimización de Cargas.....	14
Figura 15. Optimización de Cargas.....	14
Figura 16.Indicadores del estado del arte.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Franjas horarias y precios	7
Tabla 2. Matriz del estado del arte	19

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA

Resumen

En este documento se presenta un programa de respuesta a la demanda eléctrica que permita priorizar que cargas eléctricas deben ser reducidas o mantenerse para lograr un ahorro energético mediante el mecanismo de tarifa de precios de energía eléctrica en tiempo real, a este programa se le aplica una optimización multiobjetivo que permite incluir aspectos como la operatividad y los tiempos asociados a la operación de un proceso industrial, para este caso es el tiempo de arranque de los procesos industriales la restricción que se añade para lograr un comportamiento completo del programa, la optimización busca mediante las restricciones de tipo energético conseguir una gestión de las cargas asociadas al proceso, se muestra también como se logra reducir el consumo de energía asociados al uso de ciertos procesos.

Palabras Clave:

Energías Renovables, Maximización, Minimización, Optimización Multi-objetivo, Procesos Industriales, Programación de la demanda.

Abstract

This document presents a program of response to the electrical demand that allows prioritizing that electrical loads must be reduced or maintained to achieve energy savings through the mechanism of rate of prices of electricity in real time, this program is applied a Multi-Objective optimization that allows to include aspects such as the operability and times associated with the operation of an industrial process, for this case is the start time of the industrial processes the restriction that is added to achieve a complete behavior of the program, the optimization seek by means of the restrictions of energy get a management of the loads associated with the process, it is also shown how to reduce the energy consumption associated with the use of certain processes.

Keywords: Demand programming, Industrial Processes, Maximization, Minimization, Multi-objective Optimization, Renewable Energy.

1. Introducción

El avance progresivo que ha tenido la investigación con respecto a los programas de respuesta a la demanda y la preocupación de las empresas distribuidoras de energía eléctrica para abastecer su demanda pico reduciendo los costos de generación de energía [1]–[3], además el ingreso de energías renovables no convencionales y cargas especiales como el vehículo eléctrico son características que hacen necesario el desarrollo de programas que ayuden a gestionar la energía eléctrica y así abastecer la demanda necesaria sin elevar los costos de producción, transporte y distribución de energía [1], [3]–[7].

La programación de respuesta a la demanda no solo favorece al sistema eléctrico de potencia (SEP) sino también al usuario final, debido a que al realizar una gestión de energía eléctrica adecuada se puede reducir el consumo eléctrico sin disminuir indicadores como la satisfacción del usuario[8]–[10].

En el análisis de las diversas programaciones de la demanda eléctrica se pudo encontrar diversos problemas que han sido objeto de análisis por la comunidad científica[6], [10], [11], entre los principales se encuentran:

- Las políticas internas de cada país que no permiten el ingreso de energías renovables y se oponen a implementar programas de respuesta a la demanda, por lo cual la financiación de los proyectos de investigación hacen que estos programas sean de apoyo netamente gubernamental, siendo así esta muy escasa[1], [3], [4], [12], [13].
- Los programas de respuesta a la demanda que usan un esquema enfocado en una modelación de

precios dinámicos no son totalmente efectivos debido a que no se consideran todas las variables involucradas en el proceso por lo cual no existe un total levantamiento de las incertidumbres asociadas[4]–[7], [14], [15].

- Los problemas asociados a la robustez de los programas de respuesta a la demanda y su programación también aportan a que no se haya llegado a un punto en común entre la comunidad científica por lo que todavía en la actualidad se sigue experimentando con diversos métodos y programaciones [9]–[11], [16]–[25].
- El ingreso intermitente de energías renovables, debido a que no existe un balance ni una tendencia para su ingreso también dificulta el diseño de programas de respuesta a la demanda ya que estos no son diseñados para ser modificables e incluir todas las variables necesarias para ser adaptable a un programa [15]–[21], [23]–[33].

La preocupación del consumidor de energía eléctrica a lo largo del tiempo ha sido siempre reducir los costos derivados al consumo de esta energía por lo cual la mayoría de programas de respuesta a la demanda se diseñan para ser adaptados al usuario final [3], [5], [7], [34] siendo este quién realice la gestión de su consumo logrando así en conjunto con las otras cargas (con programas de respuesta a la demanda) [1]–[45], que se pueda reducir en gran cantidad la demanda energética[2], [4], [7], [9], es así que el SEP no tendrá que disponer de energía Térmica en gran proporción para abastecer la demanda

en las horas pico, es importante mencionar que estas características

obedecen al comportamiento del Sistema Eléctrico Ecuatoriano.

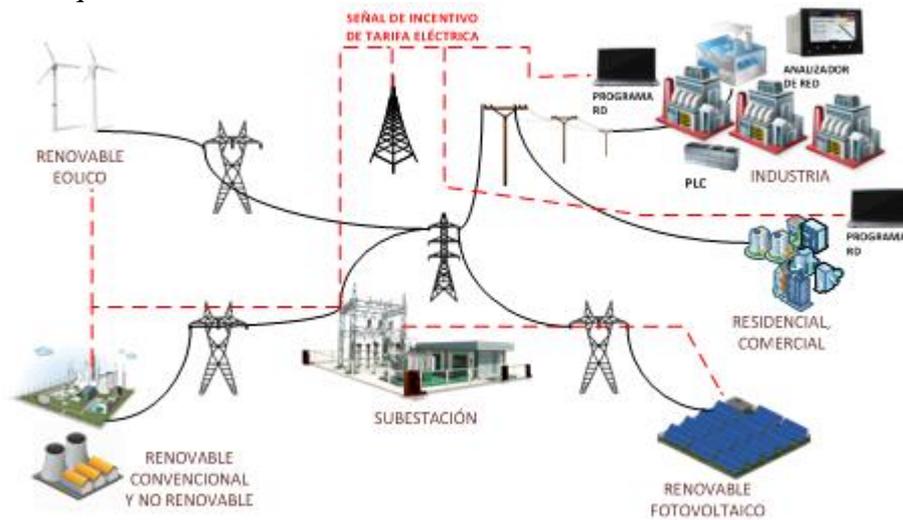


Figura 1. Respuesta a la demanda

Las programaciones de respuesta a la demanda obedecen a los lineamientos de eficiencia energética que es el reducir el consumo energético usado para un proceso sin la necesidad de reducir la satisfacción de energía que necesita el mismo[4], [7]–[10], [12], [17], [23], [28], el objetivo de los programas de respuesta a la demanda son los de elaborar mecanismos que permitan el uso adecuado de energía con la finalidad de reducir así el consumo eléctrico mediante incentivos desde el operador del sistema hacia el cliente, incentivos que varían directamente la tarifa eléctrica para de esta manera lograr que el sistema no sea saturado en horas pico[3], [5], [7], [10], [30].

2. Programas de Respuesta a la Demanda (PRD)

Como se puede observar en la Figura 1 el concepto de programas de respuesta a la demanda se puede describir como acciones realizadas por un controlador que posee la programación adecuada que permitirá recibir la señal de incentivos tarifarios de los costos de venta de energía eléctrica por parte del distribuidor de energía mediante medios

de comunicación, con los cuales este podrá decidir si reduce o aumenta su consumo eléctrico dependiendo de la conveniencia de este precio para su estructura de demanda.

Existen definidos 3 tipos de PRD que son brevemente explicados a continuación:

Entre los principales Sistemas de Respuesta a la demanda son los mecanismos de relación de tiempo.

Los mecanismos de relación de tiempo se subdividen en mecanismos de precios en tiempo real, tiempo de uso y precio de pico crítico.

Los mecanismos de precios en tiempo real tienen la metodología de ofrecer a los abonados o beneficiarios del servicio eléctrico un valor por cada kWh que va a ser consumido que obedece al comportamiento del precio de la energía eléctrica en el SEP.

Los mecanismos de tiempo de uso, es un cálculo aproximado del precio de consumo dividido en las diferentes franjas horarias.

La metodología para los mecanismos de precio de pico crítico consiste en determinar un precio específico para la etapa crítica pico del sistema logrando así disminuir el consumo eléctrico y no tener que disponer de energía de reserva elevada en el sistema.

Los programas de gestión de respuesta a la demanda son orientados a modificar la demanda tradicional calculada comúnmente con un promedio del costo de generación de energía en un determinado tiempo. Las modificaciones a la demanda tienen como finalidad el disminuir el consumo durante las horas pico que son compensadas con un consumo mayoritario de energía en las horas de menor actividad, demanda base o valle.

Para una mayor efectividad en la programación de la respuesta a la demanda es necesario planear un escenario ideal en donde la mayoría del universo de cargas pertenezca al conjunto de cargas flexibles, logrando así tener un mejor control en la activación y desactivación de cargas en horas críticas.

2.1 Mecanismos de Tarifas de precios en tiempo real

Los mecanismos de tarifas basados en precios son métodos utilizados para modificar el consumo eléctrico de un usuario logrando así reducir su consumo en horas pico y aumentar su consumo en horas no críticas, sin embargo, el usuario mantiene su independencia, es decir, el mecanismo contempla la elección voluntaria del abonado.

En la actualidad se calcula el precio de la energía eléctrica según lo preestablecido en el instrumento denominado pliego tarifario el cual muestra los lineamientos necesarios

para una correcta interpretación de la tarifa eléctrica y sus componentes.

Mismo que define que las tarifas y cobros por energía eléctrica van dirigidas a todas las personas que se benefician del servicio público de electricidad, sin embargo, estos valores están sujetos a variaciones dependiendo de cada uno de los distribuidores en cada una de las zonas de concesión.

Cabe señalar que la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica enuncia que, en la facturación del consumo de energía eléctrica a los usuarios finales o consumidores, se incluirá los valores facturados por: consumo de energía eléctrica, demanda de potencia activa y reactiva, pérdidas y un valor por la penalización por bajo factor de potencia, entre otros.

La programación de respuesta a la demanda será diseñada para modificar los valores correspondientes al consumo de energía eléctrica y la demanda de potencia activa en la facturación del servicio.

Para un usuario industrial de media tensión con demanda horaria diferenciada se considera tres horarios comprendidos de la siguiente manera:

Tabla 1. Franjas horarias y precios

Horario [hora]	Tarifa [\$/kWh]
08h00 – 18h00	0.093
18h00 – 22h00	0.107
22h00 – 08h00	0.075

Para aplicar mecanismos de tarifas en tiempo real es necesario que el distribuidor del servicio eléctrico envíe una señal de incentivo al cliente siendo esta un precio que permita que el usuario pueda decidir si es conveniente o no el reducir su consumo eléctrico, sin embargo para esto es indispensable que este cuente con un programa de respuesta a la demanda que le permita reducir su

consumo eléctrico o aumentar el mismo sin disminuir la satisfacción del usuario o usuarios industriales, que le permita mantener su cadena de productividad con la reducción de consumo eléctrico.

2.2 Mecanismos de Tarifas de precios de tiempos de uso

El mecanismo de tarifas de precios de tiempos de uso se asemeja a un cálculo del precio estático que muestra el costo de la energía en el sistema eléctrico a largo plazo, es decir, muestra diversos precios basados en la variación de las horas del día, el día de la semana, es decir, muestra el costo de producción de la electricidad tomando como referencia diferentes momentos.

Como se muestra en el pliego tarifario en la Tabla 1 se puede observar como existen periodos de fijación de precios para tiempos de uso, de similar forma se definen los precios para este tipo de programación de respuesta a la demanda, siendo estos precios por consumo eléctrico en demanda pico, demanda media y demanda fuera de pico.

De igual manera se puede observar en la Tabla 1 que los precios tienen un comportamiento que obedece a las necesidades del sistema eléctrico siendo así que para la demanda pico se tiene un valor elevado, para la demanda media se tiene un valor moderado y finalmente para la demanda que se encuentra fuera de pico el precio es bajo.

Esta metodología se aplica con el objetivo de reducir los costos del sistema al brindar el servicio de energía eléctrica, por lo tanto, es necesario definir los 3 escenarios de demanda con sus características, por ejemplo: El sistema eléctrico de potencia se encuentra en su estado pico cuando proporciona la mayor cantidad de

energía eléctrica en un periodo de tiempo debido al mayor consumo de energía, es decir, el uso de la capacidad del sistema es la mayor.

Es necesario para completar esta demanda que el sistema se expanda realizando fuertes inversiones que en algunos casos llegan a ser utilizadas en el escenario pico y no en los otros escenarios convirtiendo a estas inversiones exclusivas para abastecer la demanda pico del sistema.

Así también el uso de energía térmica, que en el caso de Ecuador es utilizada para satisfacer los picos de la curva de servicio eléctrico que abastece la demanda del sistema.

No hay que dejar a un lado pese a que no es objeto de este estudio la importancia de las pérdidas técnicas que los componentes de la red eléctrica producen en condiciones normales, estas pérdidas pueden causar variaciones sobre las tarifas eléctricas.

3. Formulación del Problema

Debido a la necesidad de análisis derivada a la búsqueda de la reducción del consumo eléctrico es necesario realizar una programación de respuesta a la demanda que cumpla con las características necesarias para reducir el consumo eléctrico aumentando la satisfacción del usuario.

Para lo cual es necesario utilizar optimización multiobjetivo debido a que puede existir entre las restricciones conflictos entre objetivos, que pueden ocasionar que mientras un objetivo va mejorando, otro empeore de igual o mayor forma.

3.1 Optimización Multiobjetivo

Los modelos de optimización general no se asemejan a la realidad práctica debido

a que estos tienen una función objetivo y varias restricciones, condiciones que rara vez se asemejan a un comportamiento de un problema práctico de la vida real.

La mayoría de los casos existen varios objetivos que pueden involucrarse en una optimización y estos pueden variar sus condiciones.

Sin embargo, estos objetivos pueden variar en su importancia dependiendo de las condiciones del sistema. Entre más objetivos más probable es que las soluciones se vuelvan complejas es decir que estas sean menos cuantificables.

Para realizar una optimización multiobjetivo es necesario plantear los objetivos y las restricciones de un problema natural de tal manera que su diseño sea numéricamente manejable y se apegue a la realidad.

3.2 Método de las ϵ -restricciones

Este método es el utilizado para realizar la programación de la respuesta a la demanda eléctrica debido a su obtención de la solución al conseguir un frente exacto de Pareto, método con mayor frecuencia de uso en la programación multiobjetivo. El método consiste en optimizar únicamente una de las funciones objetivo, es decir, busca optimizar uno de los objetivos para utilizar el resto de los objetivos como restricciones paramétricas.

$$\text{Minimizar } F_{obj2}$$

$$\text{Minimizar } F_{obj3}$$

Sujeto a:

$$x \in X$$

Por lo tanto, el modelo a resolver mediante este método será:

$$\text{Minimizar } F_{obj1}$$

Sujeto a:

$$F_{obj2} \leq \epsilon$$

$x \in X$ Resolviéndose para diversos valores de ϵ

3.3 Indicadores de Producción

Para plantear un escenario realista es necesario tomar en cuenta los parámetros derivados de la operación de los equipos del caso de estudio, por lo cual se ha tomado en cuenta parámetros como el tiempo que demoran todos los equipos en estar listos para ser arrancados, esto se debe a que si existe una parada ocasionada por el programa de respuesta a la demanda para volver a arrancar uno de los tres procesos es necesario contar con un tiempo estimado para los procesos de 12, 14, 17 minutos respectivamente, es decir, se optimizará el tiempo de utilización tomando en cuenta los valores de demora en el arranque de cada proceso.

4. Resolución del Problema

4.1 Mediciones de Potencia Eléctrica

El analizador de red instalado en la industria objeto de caso de estudio fue un Cicutor MYeBOX 150.



Figura 2. Analizador de red

4.2 Distribución de Programa de Respuesta a la Demanda Eléctrica

Para realizar un adecuado funcionamiento del programa de respuesta a la demanda eléctrica se plantea la necesidad de utilizar un PLC que pueda recibir la señal desde el programa de respuesta a la demanda mediante una computadora portátil, además es necesario tener una realimentación hacia el programa mediante un analizador de red que permite observar el comportamiento de las diferentes cargas asociadas al proceso.

Para definir las cargas controlables es necesario dividir en 5 grupos principales de consumo de energía, siendo estos los 3 procesos industriales, el conjunto de los servicios auxiliares que pueden ser desactivados en cualquier momento ya que no afectan al proceso y finalmente un conjunto de bombas. Cabe mencionar que los 5 grupos son independientes y no dependen entre sí para la operatividad de la industria.

En la figura 3 se puede apreciar la arquitectura del sistema de respuesta a la demanda eléctrica.

El programa de respuesta a la demanda está diseñado para realizar la gestión de la energía en dos conjuntos de motores que realizan el movimiento de bandas de transporte de material metálico, además se incluyen dos conjuntos de bombas que independientes entre sí abastecen de agua y aceite a todos los componentes del proceso, además, se incluye un conjunto de servicios auxiliares.



Figura 3. Arquitectura del sistema de respuesta a la demanda eléctrica.

4.3 Programa de Respuesta a la Demanda

Para el adecuado planteamiento del programa de respuesta a la demanda es necesario identificar las funciones objetivo a optimizar, según las condiciones presentadas por el proceso.

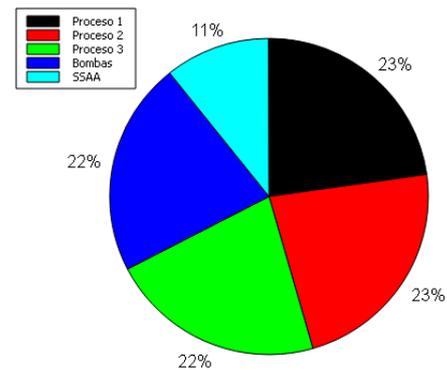


Figura 4. Distribución de procesos

La distribución promedio de los procesos en potencia efectiva se describe en la Figura 4.

Procesos:

A continuación, se puede observar en la figura 5 el consumo para los 3 procesos que no estaban separados, sin embargo, para la programación de la respuesta a la demanda es necesario separarlos.

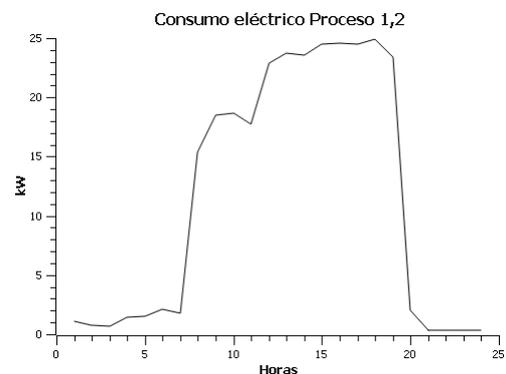


Figura 5. Consumo eléctrico Proceso 1,2

Debido a que el proceso encendía todos los equipos al mismo tiempo se puede notar una similitud entre los procesos 1-2 y 3-4.

Proceso 3 y 4:

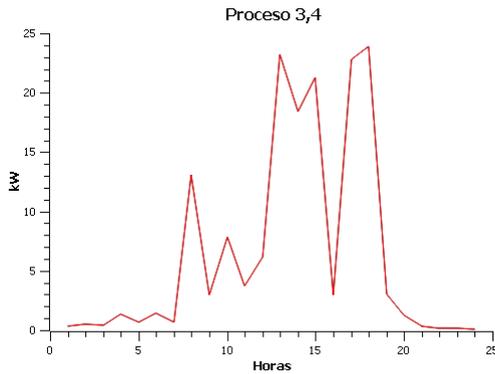


Figura 6. Consumo eléctrico Proceso 3,4

Servicios Auxiliares Variables:

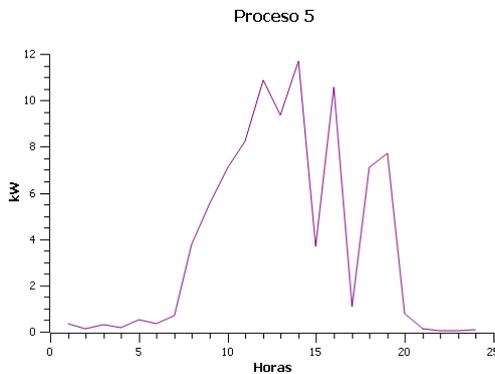


Figura 7. Consumo eléctrico Proceso 5

Cabe señalar que los datos fueron obtenidos con un periodo de 24 horas.

Los valores correspondientes a los procesos, bombas, SSAA (Servicios Auxiliares) son ingresados al programa de gestión de respuesta a la demanda cada hora para observar su funcionamiento.

Funciones objetivo:

$$Fobj1 = \min \left(\sum_i Pot_i * Cost_i \right) \quad (1)$$

$$Fobj2 = \min \left(\sum_i Pot_i * \sum_i Tarr_i \right) \quad (2)$$

$$Fobj3 = \min \left(\sum_i Pot_i * Dem_i \right) \quad (3)$$

Dónde:

Pot Potencia de cada uno de los procesos medido con un analizador de red para cada tiempo *i*.

Cost Incentivo tarifario enviado por el distribuidor de energía.

Tarr Tiempo de arranque que demoran los elementos en estar listos para un nuevo arranque después de una parada inicial o para su primer arranque.

Dem Demanda máxima de todos los procesos.

Restricciones:

$$\sum_i Pot_i \geq Dem_{max} \quad (4)$$

$$\sum_i Tarr_i \leq Varr_{tot} \quad (5)$$

Dónde:

Dem Valor de demanda máxima de todos los procesos.

Varr Valor máximo de arranques de todos los procesos.

Para entender el funcionamiento del programa a continuación se detalla el pseudocódigo que obedece a su comportamiento.

Optimización multiobjetivo de Programación de Respuesta a la Demanda

Paso 1: Inicio del algoritmo

Paso 2: Declaración

c: Costo

i: Conjunto de datos

j: Variable de decisión

k: Dirección de funciones objetivo

P_m : Potencia máxima del conjunto de procesos para i

D : tipo de demanda para i

Paso 3: Asignación

P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 (potencias)

Paso 4: Proceso

Para $k[0]$ **hacer:**

Si $M_{xobj}(k) \leq k[0]$

entonces:

$M_{nobje}(k) = \min k[n]$

A_{obj} = auxiliar $k[n]$

o_j = auxiliar variable $k[n]$

$ex(k)$ = exceso ϵ

Fin si

Fin para

Para $n > k$ **entonces:**

Calcular tabla de pagos

Minimizar función objetivo

Fin para:

Para M_{xobje} y $M_{nobje} > k$

entonces:

Definir valores de ϵ

Encontrar la solución de Pareto óptima

Si ($f_{o2} \leq M_{xobje}(k)$)

entonces:

Para (cada valor de k) **hacer:**

$\epsilon = M_{xobje}(k)$

Fin Para

Fin Si

Fin Para

Paso 5: Visualizar

Imprimir tabla de pagos

Paso 6: Fin del algoritmo

5. Análisis de Resultados

A continuación, se mostrarán los resultados de cada uno de los procesos realizando una comparación entre el proceso sin optimización y optimizado, cabe señalar que estos reflejan una aproximación del comportamiento a futuro del programa de respuesta a demanda.

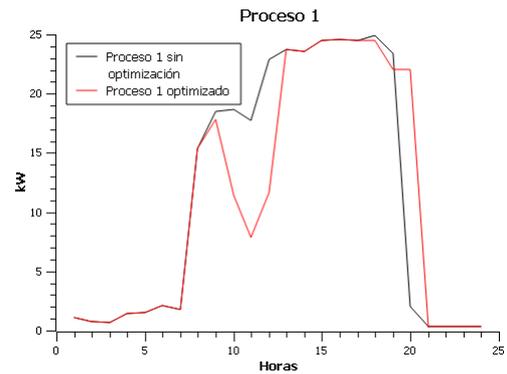


Figura 8. Proceso 1

En el proceso 1 se puede observar cómo se disminuye el consumo eléctrico, es decir, se logra un ahorro energético entre las 9:00 y 13:00, seguido de una diminuta reducción del consumo entre las 18:00 y 19:00, además se puede observar que el programa de respuesta a la demanda sugiere que se aumente el consumo de energía para compensar de alguna manera la productividad del proceso, este se utiliza desde las 20:00 hasta las 21:00 ya que en estas horas no se utilizaba el proceso.

El porcentaje de ahorro logrado por el programa de gestión de la demanda eléctrica es de aproximadamente 1,2%.

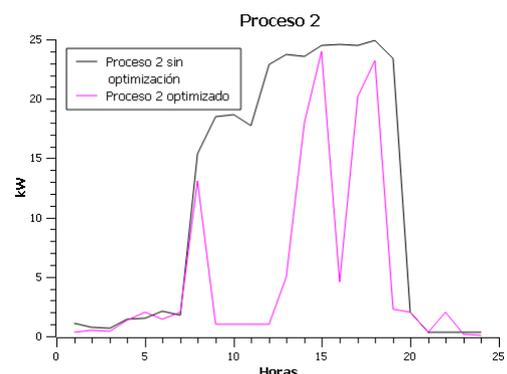


Figura 9. Proceso 2

En el proceso 2 se observa que en este caso debido al alto tiempo de arranque que necesita el proceso para su operatividad que es reducido en mayor cantidad a pesar de que estos tienen valores de consumo de potencia similares.

El porcentaje de ahorro logrado por el programa de gestión de la demanda eléctrica es de aproximadamente 4%.

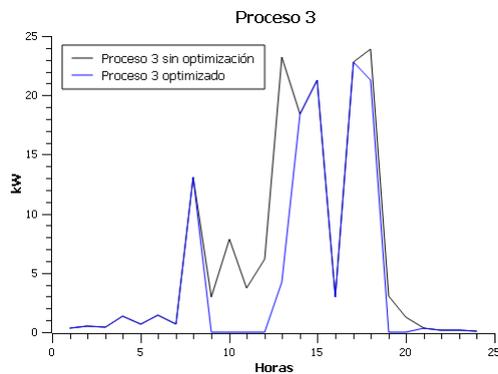


Figura 10. Proceso 3

En la Figura 10 que describe el proceso 3 se puede notar como el programa de respuesta a la demanda reduce el consumo eléctrico o el uso del proceso en las horas en donde este tenía un mayor consumo que son los dos picos de energía que se dan en las 13:00 horas y 18:00 horas respectivamente.

El porcentaje de ahorro logrado por el programa de gestión de la demanda eléctrica es de aproximadamente 20%.

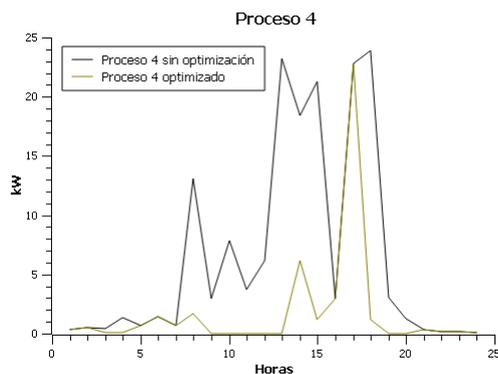


Figura 11. Proceso 4

En la Figura 11 que describe el proceso 4 se muestra como el programa de respuesta a la demanda disminuye drásticamente el consumo debido a las dos restricciones en las cuales los valores de este proceso eran altos por lo cual se puede determinar el comportamiento aproximado del

programa de respuesta a la demanda eléctrica.

El porcentaje de ahorro logrado por el programa de gestión de la demanda eléctrica es de aproximadamente 50%.

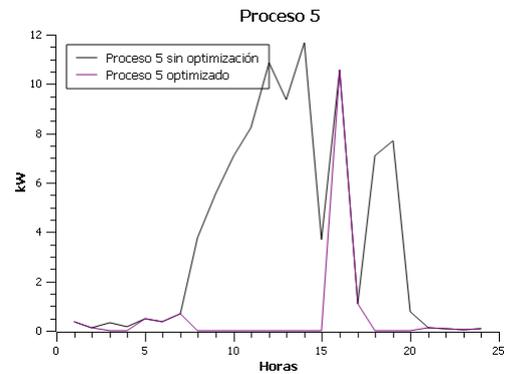


Figura 12. Proceso 5

En este proceso mostrado en la Figura 12 es notable que existe una reducción de consumo derivado al uso del proceso 5 lo cual evidencia que los parámetros de las restricciones asociados a este proceso han sido tomados en cuenta para que en conjunto con los otros procesos prioricen la reducción de consumo eléctrico.

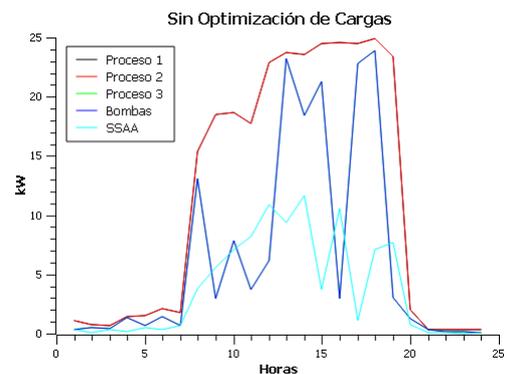


Figura 13. Sin optimización de Cargas

En la figura 13 se observa el conjunto de las cargas antes de aplicar el programa de respuesta a la demanda eléctrica.

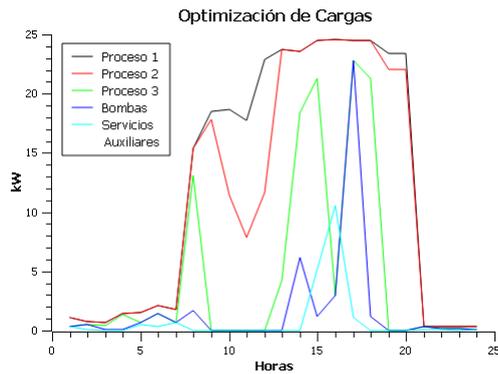


Figura 14. Optimización de Cargas

En la figura 14 se observa como las cargas han sido optimizadas y reducidas logrando que el precio final de la energía sea reducido sin afectar la operatividad del proceso.

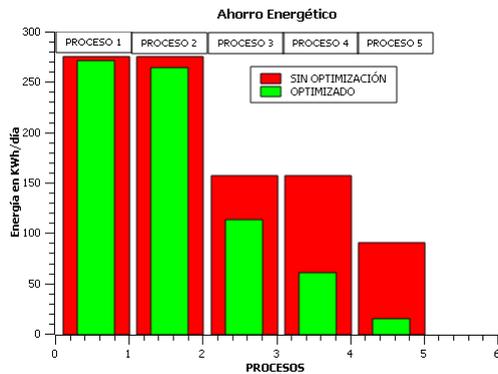


Figura 15. Optimización de Cargas

En la figura 15 se observa las cargas optimizadas en un diagrama de barras, donde nos muestra los valores optimizados y no optimizados de nuestro algoritmo.

6. Conclusiones

Con la creación del programa de respuesta a la demanda y una optimización multiobjetivo que obedezca las exigencias del sistema eléctrico y las características del programa con condiciones de precios en tiempo real, se ha llegado a la conclusión que debido a la incertidumbre que existe en los sistemas eléctricos con respecto a este tema es importante que se sigan

ampliando los programas de respuesta a la demanda, incluyendo muchas más variables al programa que de manera directa o indirecta afectan el consumo de energía eléctrica, es debido a estos parámetros que el programa puede encontrar valores reales y aproximados a un escenario real.

En los procesos industriales existen variables que no permiten un adecuado diseño de programas de respuesta a la demanda ya que estos son complejos y funcionan entrelazados con más indicadores y características que son diferentes en cada proceso, es decir, que se concluye que para cada tipo de proceso es necesario un programa de respuesta a la demanda que abarque todas sus características y singularidades y así lograr llegar a un objetivo real, sin embargo, se deberá llegar a normalizar estos tipos de programas logrando que estos sean compatibles al menos con ciertos escenarios.

También es necesario como bien se menciona en la conclusión anterior, que por la complejidad de cada uno de los procesos que es implementada en la optimización multiobjetivo esta sea orientada a los principales objetivos como se ha realizado en esta investigación, por lo cual el método utilizado es el adecuado para plantear un escenario con muchos objetivos.

El algoritmo que cumple con la optimización del programa de respuesta a la demanda es orientado para satisfacer más restricciones que pueden ser ingresadas por el usuario logrando que este pueda incluir en el programa parámetros de productividad que den un amplio muestreo de la gestión del consumo de los procesos, como se ha realizado en este trabajo como pesos de la optimización se pueden combinar ciertos tipos de

restricciones que no necesariamente estén relacionadas entre sí, sino que puedan dar opciones de optimizar características como la operación y el mantenimiento en conjunto con el consumo eléctrico.

7. Referencias

- [1] S. G. Liasi, "Electric Vehicles Connection to Microgrid Effects on Peak Demand with and without Demand Response," pp. 1272–1277, 2017.
- [2] A. Salami and M. M. Farsi, "A cooperative demand response program for smart grids," *2015 Smart Grid Conf.*, no. Sgc, pp. 99–104, 2015.
- [3] C. Ibrahim, I. Mougharbel, N. A. Daher, H. Y. Kanaan, M. Saad, and S. Georges, "A novel generic architecture for the implementation of demand response programs in a smart grid," *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, pp. 558–563, 2017.
- [4] R. Deng, Z. Yang, M. Y. Chow, and J. Chen, "A survey on demand response in smart grids: Mathematical models and approaches," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 11, no. 3, pp. 570–582, 2015.
- [5] L. Yao, W. H. Lim, and T. S. Tsai, "A Real-Time Charging Scheme for Demand Response in Electric Vehicle Parking Station," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 1, pp. 52–62, 2017.
- [6] M. P. Anand, W. Ongsakul, J. G. Singh, and S. Golshannavaz, "Economic operational Scheduling of a smart distribution network considering demand response, electric vehicles and network reconfiguration," *2015 IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech 2015*, 2015.
- [7] F. Xu and L. L. Lai, "Novel Active Time Based Demand Response for Industrial Consumers in Smart Grid," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 3203, no. c, pp. 1–1, 2015.
- [8] M. Yu and S. H. Hong, "A Real-Time Demand-Response Algorithm for Smart Grids: A Stackelberg Game Approach," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 2, pp. 879–888, 2016.
- [9] S. Maharjan, Q. Zhu, Y. Zhang, S. Gjessing, and T. Basar, "Demand Response Management in the Smart Grid in a Large Population Regime," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 1, pp. 189–199, Jan. 2016.
- [10] L. Park, Y. Jang, S. Cho, and J. Kim, "Residential Demand Response for Renewable Energy Resources in Smart Grid Systems," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, pp. 1–1, 2017.
- [11] M. Esmaili and A. Vedadi, "Interaction of demand response and voltage stability in smart grids," *2016 IEEE Electr. Power Energy Conf. EPEC 2016*, 2016.
- [12] R. Deng, S. Member, Z. Yang, and M. Chow, "A Survey on Demand Response in Smart Grids," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 3203, no. c, pp. 1–8, 2015.
- [13] A. K. Sinha, "Demand Response management of smart grids using dynamic pricing."
- [14] N. Saxena, A. Roy, and H. S. Kim, "Efficient 5G Small Cell Planning with eMBMS for Optimal Demand Response in Smart Grids," *IEEE Trans. Ind.*

- Informatics*, vol. 13, no. 3, pp. 1471–1481, 2017.
- [15] A. Xuena, Z. Shaohua, and L. Xue, “Equilibrium Analysis of Electricity Market Considering Demand Response in Smart Grid,” pp. 3212–3217, 2017.
- [16] A. Malik and J. Ravishankar, “A novel hybrid control strategy for demand response in smart grids,” *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur.*, pp. 765–770, 2016.
- [17] Q. Dong, L. Yu, W. Song, S. Member, and J. Yang, “Algorithm in Smart Grid,” vol. 4, no. 2, pp. 280–296, 2017.
- [18] Z. Chen, L. Wu, and Z. Li, “Electric demand response management for distributed large-scale internet data centers,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 2, pp. 651–661, 2014.
- [19] Y. Wang, W. Yang, and T. Liu, “Appliances considered demand response optimisation for smart grid,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 11, no. 4, pp. 856–864, 2017.
- [20] M. H. Yaghmaee Moghaddam, A. Leon-Garcia, and M. Moghaddassian, “On the Performance of Distributed and Cloud-Based Demand Response in Smart Grid,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3053, no. c, pp. 1–1, 2017.
- [21] M. G. Vayá, M. Koller, S. Poelzig, M. Baldinger, and T. Borsche, “CIRED Workshop - Helsinki 14-15 June 2016 Paper 0379 DEMAND RESPONSE BASED ON SMART METERING INFRASTRUCTURE TO FACILITATE PV INTEGRATION IN LOW VOLTAGE GRIDS CIRED Workshop - Helsinki 14-15 June 2016 Paper 0379 EWHs model,” no. 379, 2016.
- [22] S. Bahrami, V. W. S. Wong, and J. Huang, “An Online Learning Algorithm for Demand Response in Smart Grid,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3053, no. c, pp. 1–1, 2017.
- [23] N. Cicek and H. Delic, “Demand Response Management for Smart Grids With Wind Power,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 2, pp. 625–634, Apr. 2015.
- [24] C. M. Correa-Posada and P. Sanchez-Martin, “Integrated Power and Natural Gas Model for Energy Adequacy in Short-Term Operation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 6, pp. 3347–3355, 2015.
- [25] W. Wei, F. Liu, and S. Mei, “Energy Pricing and Dispatch for Smart Grid Retailers Under Demand Response and Market Price Uncertainty,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 3, pp. 1364–1374, 2015.
- [26] G. Ferro, F. Laureri, R. Minciardi, and M. Robba, “G. Ferro, F. Laureri, R. Minciardi,” vol. 1, pp. 516–521, 2017.
- [27] O. Hafez, “The Impact of Smart PEV Loads in the Smart Grid considering Demand Response Provisions .,” pp. 1–5.
- [28] R. S. Sachdev, “Consumer ’ s demand response to dynamic pricing of electricity in a smart grid,” no. Icccm, pp. 0–5, 2016.
- [29] R. Deng, G. Xiao, R. Lu, and J. Chen, “Fast distributed demand response with spatially and temporally coupled constraints in smart grid,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 11, no. 6, pp. 1597–1606, 2015.
- [30] Y. Gong, Y. Cai, Y. Guo, and Y. Fang, “A Privacy-Preserving

- Scheme for Incentive-Based Demand Response in the Smart Grid,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 3, pp. 1304–1313, 2016.
- [31] M. Kadlec, B. Bůhnová, J. Tomšík, J. Herman, and K. Družbíková, “Weather forecast based scheduling for demand response optimization in smart grids,” 2017.
- [32] B. Morvaj, B. Jurisic, and N. Holjevac, “Stochastic simulation of the smart grid and demand response implementations on a city-wide scale,” *2013 36th Int. Conv. Inf. Commun. Technol. Electron. Microelectron.*, pp. 1241–1246, 2013.
- [33] N. Cicek and H. Delic, “Demand Response Management for Smart Grids With Wind Power,” *Sustain. Energy, IEEE Trans.*, vol. 6, no. 2, pp. 625–634, 2015.
- [34] F. L. Meng and X. J. Zeng, “A Profit Maximization Approach to Demand Response Management with Customers Behavior Learning in Smart Grid,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 3, pp. 1516–1529, 2016.
- [35] H. Roh and J. Lee, “Multiclass Appliances in the Smart Grid,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2015.
- [36] W.-T. Li *et al.*, “Demand Response Management for Residential Smart Grid: From Theory to Practice,” *IEEE Access*, vol. 3, no. 0, pp. 2431–2440, 2015.
- [37] S. A. Pourmousavi, S. Member, S. N. Patrick, M. H. Nehrir, and L. Fellow, “Real-Time Demand Response Through Aggregate Electric Water Heaters for Load Shifting and Balancing Wind Generation,” vol. 5, no. 2, pp. 769–778, 2014.
- [38] Y. M. Ding, S. H. Hong, and X. H. Li, “A Demand Response Energy Management Scheme for Industrial Facilities in Smart Grid,” *IEEE Trans*, vol. 10, no. 4, pp. 2257–2269, 2014.
- [39] A. A. Mahmud, “Real-Time price savings through price suggestions for the Smart Grid Demand Response model,” pp. 5–9, 2017.
- [40] O. Elma, “An Overview of Demand Response Applications under Smart Grid Concept,” pp. 104–107, 2017.
- [41] M. S. Hoosain and B. S. Paul, “Smart homes : A domestic demand response and demand side energy management system for future smart grids,” *2017 Int. Conf. Domest. Use Energy*, 2017.
- [42] V. Tikka and A. Lana, “CIRED Workshop - Helsinki 14-15 June 2016 Paper 0240 CONTROL OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING IN DOMESTIC REAL ESTATES AS CIRED Workshop - Helsinki 14-15 June 2016 Paper 0240,” vol. 2006, no. June, pp. 63–66, 2016.
- [43] H. Wang and Z. Ye, “Renewable energy-aware demand response for distributed data centers in smart grid,” *2016 IEEE Green Energy Syst. Conf. IGSEC 2016*, 2016.
- [44] Z. Sui, M. Niedermeier, and H. de Meer, “TAI: A Threshold-based Anonymous Identification Scheme for Demand-Response in Smart Grids,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3053, no. c, pp. 1–1, 2016.
- [45] F. Rassaei, W. Soh, K. Chua, and M. S. Modarresi,

“Environmentally-Friendly
Demand Response for
Residential Plug-in Electric
Vehicles,” no. Ldv, pp. 2–7,
2017.

7.1 Estado del arte

Tabla 2. Matriz del estado del arte

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA																							
DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA								
ITEM	AÑO	Optimización multiobjetivo del consumo de energía eléctrica basado en la programación de la demanda	Programación de respuesta a la demanda	Eficiencia Energética	Minimización del consumo eléctrico	Minimización de costos	Energías Renovables	Optimización Multiobjetivo	OPTIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN DE COSTOS	MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RESPUESTA A LA DEMANDA	COSTO	TIPO DE CARGAS	CONDICIONES DE COBERTURA	CONDICIONES DE DEMANDA	OPTIMIZACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS	CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGAS	OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	SEGURIDAD	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	AHORRO ENERGÉTICO	
1	2017		S. G. Liassi, "Electric Vehicles Connection to Microgrid Effects on Peak Demand with and without Demand Response," pp. 1272–1277.	✗	✗	✗		✗	✗	✗			✗	✗		✗				✗		✗	✗
2	2017		G. Ferro, F. Laureri, R. Minciardi, and M. Robba, "G. Ferro, F. Laureri, R. Minciardi," vol. 1, pp. 516–521, 2017.				✗			✗			✗				✗						
3	2017		A. Xuena, Z. Shaohua, and L. Xue, "Equilibrium Analysis of Electricity Market Considering Demand Response in Smart Grid," pp. 3212–3217, 2017.	✗	✗			✗		✗	✗	✗				✗	✗				✗	✗	
4	2017		M. Kadlec, B. Búhnová, J. Tomsík, J. Herman, and K. Družbík, "Weather forecast based scheduling for demand response optimization in smart grids," 2017.		✗			✗		✗	✗		✗		✗		✗			✗	✗		
5	2017	A. A. Mahmud, "Real-Time price savings through price suggestions for the Smart Grid Demand Response model," pp. 5–9, 2017.					✗		✗			✗				✗	✗					✗	

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA

DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA													
ITEM	AÑO	Optimización multiobjetivo del consumo de energía eléctrica basado en la programación de la demanda					Programación de respuesta a la demanda	Eficiencia Energética	Minimización del consumo eléctrico	Minimización de costos	Energías Renovables	Optimización Multiobjetivo	OPTIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN DE COSTOS	MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RESPUESTA A LA DEMANDA	COSTO	TIPO DE CARGAS	CONDICIONES DE COBERTURA	CONDICIONES DE DEMANDA	OPTIMIZACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS	CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGAS	OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	SEGURIDAD	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	AHORRO ENERGÉTICO		
6	2017	O. Elma, "An Overview of Demand Response Applications under Smart Grid Concept," pp. 104–107, 2017.									☒		☒	☒		☒				☒								☒
7	2017	M. S. Hoosain and B. S. Paul, "Smart homes : A domestic demand response and demand side energy management system for future smart grids," 2017 Int. Conf. Domest. Use Energy, 2017.						☒			☒			☒		☒		☒			☒			☒		☒		☒
8	2017	L. Park, Y. Jang, S. Cho, and J. Kim, "Residential Demand Response for Renewable Energy Resources in Smart Grid Systems," IEEE Trans. Ind. Informatics, pp. 1–1, 2017.					☒				☒	☒	☒		☒					☒		☒		☒				☒
9	2016	R. S. Sachdev, "Consumer 's demand response to dynamic pricing of electricity in a smart grid," no. Icccm, pp. 0–5, 2016.					☒				☒	☒		☒				☒		☒		☒		☒				
10	2017	C. Ibrahim, I. Mougharbel, N. A. Daher, H. Y. Kanaan, M. Saad, and S. Georges, "A novel generic architecture for the implementation of demand response programs in a smart grid," Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol., pp. 558–563, 2017.					☒	☒			☒	☒	☒		☒	☒				☒				☒				

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA

DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA													
ITEM	AÑO	Optimización multiobjetivo del consumo de energía eléctrica basado en la programación de la demanda					Programación de respuesta a la demanda	Eficiencia Energética	Minimización del consumo eléctrico	Minimización de costos	Energías Renovables	Optimización Multiobjetivo	OPTIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN DE COSTOS	MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RESPUESTA A LA DEMANDA	COSTO	TIPO DE CARGAS	CONDICIONES DE COBERTURA	CONDICIONES DE DEMANDA	OPTIMIZACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS	CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGAS	OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	SEGURIDAD	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	AHORRO ENERGÉTICO			
11	2017	N. Saxena, A. Roy, and H. S. Kim, "Efficient 5G Small Cell Planning with eMBMS for Optimal Demand Response in Smart Grids," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 13, no. 3, pp. 1471–1481, 2017.											☒	☒							☒					☒			
12	2016	M. G. Vayá, M. Koller, S. Poelzig, M. Baldinger, and T. Borsche, "CIRED Workshop - Helsinki 14-15 June 2016 Paper 0379 DEMAND RESPONSE BASED ON SMART METERING INFRASTRUCTURE TO FACILITATE PV INTEGRATION IN LOW VOLTAGE GRIDS CIRED Workshop - Helsinki 14-15 June 2016 Paper 0379 EWHs model," no. 379, 2016.					☒	☒	☒				☒																
13	2016	V. Tikka and A. Lana, "CIRED Workshop - Helsinki 14-15 June 2016 Paper 0240 CONTROL OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING IN DOMESTIC REAL ESTATES AS CIRED Workshop - Helsinki 14-15 June 2016 Paper 0240," vol. 2006, no. June, pp. 63–66, 2016.									☒			☒	☒						☒								
14	2015	A. Salami and M. M. Farsi, "A cooperative demand response program for smart grids," 2015 Smart Grid Conf., no. Sgc, pp. 99–104, 2015.					☒	☒	☒					☒			☒												☒
15	2017	O. Hafez, "The Impact of Smart PEV Loads in the Smart Grid considering Demand Response Provisions .," pp. 1–5.							☒					☒		☒					☒								

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA

ITEM	DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	Optimización multiobjetivo del consumo de energía eléctrica basado en la programación de la demanda	Programación de respuesta a la demanda	Eficiencia Energética	Minimización del consumo eléctrico	Minimización de costos	Energías Renovables	Optimización Multiobjetivo	OPTIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN DE COSTOS	MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RESPUESTA A LA DEMANDA	COSTO	TIPO DE CARGAS	CONDICIONES DE COBERTURA	CONDICIONES DE DEMANDA	OPTIMIZACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS	CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGAS	OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	SEGURIDAD	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	AHORRO ENERGÉTICO	
16	2016	A. K. Sinha, "Demand Response management of smart grids using dynamic pricing."				☒		☒			☒				☒								☒
17	2016	A. Malik and J. Ravishankar, "A novel hybrid control strategy for demand response in smart grids," IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur., pp. 765–770, 2016.					☒				☒			☒									☒
18	2016	H. Wang and Z. Ye, "Renewable energy-aware demand response for distributed data centers in smart grid," 2016 IEEE Green Energy Syst. Conf. IGSEC 2016, 2016.	☒							☒			☒										
19	2016	M. Esmaili and A. Vedadi, "Interaction of demand response and voltage stability in smart grids," 2016 IEEE Electr. Power Energy Conf. EPEC 2016, 2016.			☒			☒		☒					☒				☒				
20	2016	Z. Sui, M. Niedermeier, and H. de Meer, "TAI: A Threshold-based Anonymous Identification Scheme for Demand-Response in Smart Grids," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3053, no. c, pp. 1–1, 2016.	☒						☒		☒		☒			☒							☒

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA

DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA						
ITEM	AÑO	Optimización multiobjetivo del consumo de energía eléctrica basado en la programación de la demanda					Programación de respuesta a la demanda	Optimización	MINIMIZACIÓN DE COSTOS	MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RESPUESTA A LA DEMANDA	COSTO	TIPO DE CARGAS	CONDICIONES DE COBERTURA	CONDICIONES DE DEMANDA	OPTIMIZACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS	CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGAS	OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	SEGURIDAD	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	AHORRO ENERGÉTICO	
21	2015	W.-T. Li et al., "Demand Response Management for Residential Smart Grid: From Theory to Practice," IEEE Access, vol. 3, no. 0, pp. 2431–2440, 2015.					☒		☒		☒					☒			☒			
22	2015	M. P. Anand, W. Ongsakul, J. G. Singh, and S. Golshannavaz, "Economic operational Scheduling of a smart distribution network considering demand response, electric vehicles and network reconfiguration," 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech 2015, 2015.						☒	☒	☒		☒			☒						☒	
23	2016	F. L. Meng and X. J. Zeng, "A Profit Maximization Approach to Demand Response Management with Customers Behavior Learning in Smart Grid," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 3, pp. 1516–1529, 2016.								☒	☒				☒				☒		☒	
24	2015	H. Roh and J. Lee, "Multiclass Appliances in the Smart Grid," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2015.								☒					☒						☒	
25	2015	F. Xu and L. L. Lai, "Novel Active Time Based Demand Response for Industrial Consumers in Smart Grid," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 3203, no. c, pp. 1–1, 2015.							☒			☒				☒				☒		

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA

ITEM	DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA						
	AÑO	Optimización multiobjetivo del consumo de energía eléctrica basado en la programación de la demanda	Programación de respuesta a la demanda	Eficiencia Energética	Minimización del consumo eléctrico	Minimización de costos	Energías Renovables	Optimización Multiobjetivo	OPTIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN DE COSTOS	MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RESPUESTA A LA DEMANDA	COSTO	TIPO DE CARGAS	CONDICIONES DE COBERTURA	CONDICIONES DE DEMANDA	OPTIMIZACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS	CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGAS	OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	SEGURIDAD	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	AHORRO ENERGÉTICO
26	2016	S. Maharjan, Q. Zhu, Y. Zhang, S. Gjessing, and T. Basar, "Demand Response Management in the Smart Grid in a Large Population Regime," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 1, pp. 189–199, Jan. 2016.		☒						☒	☒				☒						☒	☒
27	2015	N. Cicek and H. Delic, "Demand Response Management for Smart Grids With Wind Power," Sustain. Energy, IEEE Trans., vol. 6, no. 2, pp. 625–634, 2015.	☒		☒	☒			☒			☒			☒							☒
28	2016	M. Yu and S. H. Hong, "A Real-Time Demand-Response Algorithm for Smart Grids: A Stackelberg Game Approach," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 2, pp. 879–888, 2016.						☒					☒				☒				☒	
29	2016	Y. Gong, Y. Cai, Y. Guo, and Y. Fang, "A Privacy-Preserving Scheme for Incentive-Based Demand Response in the Smart Grid," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 3, pp. 1304–1313, 2016.	☒						☒		☒			☒		☒					☒	
30	2015	N. Cicek and H. Delic, "Demand Response Management for Smart Grids With Wind Power," IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 6, no. 2, pp. 625–634, Apr. 2015.				☒			☒		☒			☒								☒

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA

DATOS		TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA						
ITEM	AÑO	Optimización multiobjetivo del consumo de energía eléctrica basado en la programación de la demanda	Programación de respuesta a la demanda	Eficiencia Energética	Minimización del consumo eléctrico	Minimización de costos	Energías Renovables	Optimización Multiobjetivo	OPTIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN DE COSTOS	MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RESPUESTA A LA DEMANDA	COSTO	TIPO DE CARGAS	CONDICIONES DE COBERTURA	CONDICIONES DE DEMANDA	OPTIMIZACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS	CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGAS	OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	SEGURIDAD	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	AHORRO ENERGÉTICO	
31	2015		R. Deng, S. Member, Z. Yang, and M. Chow, "A Survey on Demand Response in Smart Grids," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 3203, no. c, pp. 1–8, 2015.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	2015		R. Deng, G. Xiao, R. Lu, and J. Chen, "Fast distributed demand response with spatially and temporally coupled constraints in smart grid," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 11, no. 6, pp. 1597–1606, 2015.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
33	2015		W. Wei, F. Liu, and S. Mei, "Energy Pricing and Dispatch for Smart Grid Retailers Under Demand Response and Market Price Uncertainty," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 6, no. 3, pp. 1364–1374, 2015.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	2015		C. M. Correa-Posada and P. Sanchez-Martin, "Integrated Power and Natural Gas Model for Energy Adequacy in Short-Term Operation," IEEE Trans. Power Syst., vol. 30, no. 6, pp. 3347–3355, 2015.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
35	2014		Y. M. Ding, S. H. Hong, and X. H. Li, "A Demand Response Energy Management Scheme for Industrial Facilities in Smart Grid," IEEE Trans, vol. 10, no. 4, pp. 2257–2269, 2014.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA

DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA							
ITEM	AÑO	Optimización multiobjetivo del consumo de energía eléctrica basado en la programación de la demanda	Programación de respuesta a la demanda	Eficiencia Energética	Minimización del consumo eléctrico	Minimización de costos	Energías Renovables	Optimización Multiobjetivo	OPTIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN DE COSTOS	MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RESPUESTA A LA DEMANDA	COSTO	TIPO DE CARGAS	CONDICIONES DE COBERTURA	CONDICIONES DE DEMANDA	OPTIMIZACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS	CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGAS	OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	SEGURIDAD	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	AHORRO ENERGÉTICO	
36	2014		S. A. Pourmousavi, S. Member, S. N. Patrick, M. H. Nehrir, and L. Fellow, "Real-Time Demand Response Through Aggregate Electric Water Heaters for Load Shifting and Balancing Wind Generation," vol. 5, no. 2, pp. 769–778, 2014.		☒		☒				☒						☒						☒
37	2013		B. Morvaj, B. Jurisic, and N. Holjevac, "Stochastic simulation of the smart grid and demand response implementations on a city-wide scale," 2013 36th Int. Conv. Inf. Commun. Technol. Electron. Microelectron., pp. 1241–1246, 2013.	☒						☒	☒			☒			☒						☒
38	2014		Z. Chen, L. Wu, and Z. Li, "Electric demand response management for distributed large-scale internet data centers," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 2, pp. 651–661, 2014.				☒			☒			☒				☒						☒
39	2017		L. Yao, W. H. Lim, and T. S. Tsai, "A Real-Time Charging Scheme for Demand Response in Electric Vehicle Parking Station," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 8, no. 1, pp. 52–62, 2017.		☒		☒			☒			☒				☒			☒			☒
40	2015	R. Deng, Z. Yang, M. Y. Chow, and J. Chen, "A survey on demand response in smart grids: Mathematical models and approaches," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 11, no. 3, pp. 570–582, 2015.	☒						☒			☒				☒			☒				

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN LA PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA

DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA										
ITEM	AÑO	Optimización multiobjetivo del consumo de energía eléctrica basado en la programación de la demanda					Programación de respuesta a la demanda	Eficiencia Energética	Minimización del consumo eléctrico	Minimización de costos	Energías Renovables	Optimización Multiobjetivo	OPTIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN DE COSTOS	MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RESPUESTA A LA DEMANDA	COSTO	TIPO DE CARGAS	CONDICIONES DE COBERTURA	CONDICIONES DE DEMANDA	OPTIMIZACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS	CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGAS	OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	SEGURIDAD	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	AHORRO ENERGÉTICO	
41	2017	S. Bahrami, V. W. S. Wong, and J. Huang, "An Online Learning Algorithm for Demand Response in Smart Grid," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3053, no. c, pp. 1-1, 2017.					☒						☒			☒						☒				☒	☒
42	2017	F. Rassaei, W. Soh, K. Chua, and M. S. Modarresi, "Environmentally-Friendly Demand Response for Residential Plug-in Electric Vehicles," no. Ldv, pp. 2-7, 2017.									☒		☒				☒										☒
43	2017	M. H. Yaghmaee Moghaddam, A. Leon-Garcia, and M. Moghaddassian, "On the Performance of Distributed and Cloud-Based Demand Response in Smart Grid," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3053, no. c, pp. 1-1, 2017.					☒				☒		☒				☒						☒			☒	
44	2017	Y. Wang, W. Yang, and T. Liu, "Appliances considered demand response optimisation for smart grid," IET Gener. Transm. Distrib., vol. 11, no. 4, pp. 856-864, 2017.									☒		☒	☒		☒	☒									☒	
45	2017	Q. Dong, L. Yu, W. Song, S. Member, and J. Yang, "Algorithm in Smart Grid," vol. 4, no. 2, pp. 280-296, 2017.						☒			☒	☒		☒							☒					☒	☒
						17	10	8	8	20	4	27	14	15	27	9	9	7	23	14	4	0	11	6	13	23	

Figura 16. Indicadores del estado del arte

