

**DESPACHO ECONÓMICO CONSIDERANDO
LA EMISIÓN DE GASES E INTEGRACIÓN DE
ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE
LIBÉLULAS**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**DESPACHO ECONÓMICO CONSIDERANDO
LA EMISIÓN DE GASES E INTEGRACIÓN DE
ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE
LIBÉLULAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

**AUTOR: PATRICIA ALEXANDRA BENITEZ CABASCANGO
TUTOR: CARLOS ANDRÉS BARRERA SINGAÑA**

Quito -Ecuador
2022

Patricia Alexandra Benitez Cabascango

DESPACHO ECONÓMICO CONSIDERANDO LA EMISIÓN DE GASES E INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE LIBÉLULAS

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2022

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



Patricia Alexandra Benitez Cabascango (Y'1996 – J'09). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Instituto Tecnológico Superior “Central Técnico” de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el estudio de despacho económico considerando la emisión de gases e integración de energía fotovoltaica mediante la utilización del algoritmo de libélulas. pbenitezc@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Carlos Andrés Barrera Singaña (Y'1989). Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional de Quito, donde se graduó de Ingeniero Eléctrico en 2013. Además, cursó estudios de posgrado en la Universidad de Zaragoza, España, donde obtuvo el título en Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética con Especialidad en Sistemas Eléctricos. Actualmente es profesor ocasional a tiempo completo de la Universidad Politécnica Salesiana. cbarrera@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

©2022 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Patricia Alexandra Benitez Cabascango con documento de identificación N° 1725159113 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 13 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Patricia Alexandra Benitez Cabascango
1725159113

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Patricia Alexandra Benitez Cabascango con documento de identificación No. 1725159113, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Despacho económico considerando la emisión de gases e integración de energía fotovoltaica mediante la utilización del algoritmo de libélulas”, el cual 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 concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Patricia Alexandra Benitez Cabascango

1725159113

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Andrés Barrera Singaña con documento de identificación N° 0503503336, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESPACHO ECONÓMICO CONSIDERANDO LA EMISIÓN DE GASES E INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE LIBÉLULAS**, realizado por Patricia Alexandra Benitez Cabascango con documento de identificación N° 1725159113, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Carlos Andrés Barrera Singaña, MSc

0503503336

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción.....	2
2	Marco teórico.....	3
2.1	Despacho económico energético (DE).....	3
2.1.1	Despacho económico de emisiones (DEE).....	4
2.1.2	Pronóstico de la generación fotovoltaica	4
2.1.3	Despacho económico ambiental (DEA)	4
2.2	Factores ambientales	6
2.2.1	Impacto ambiental.....	6
2.2.2	Emisión de CO ₂	7
2.3	Energía solar	7
3	Solución metaheurística utilizado en la problemática del despacho ambiental ...	8
3.1	Algoritmo de la libélula (AL).....	8
3.2	Modelación matemática.....	10
4	Análisis de resultados.....	10
4.1	Caso de Estudio 1	11
4.2	Caso de estudio 2.....	11
5	Conclusiones.....	12
5.1	Trabajos futuros	13
6	Referencias	13
6.1	Matriz de Estado del Arte.....	16
6.2	Resumen de Indicadores	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un SEP formado por N unidades de producción que abastecen una demanda PD	3
Figura 2. Tipos del impacto ambiental en el sector eléctrico causando la productividad de gases que causa el efecto invernadero	6
Figura 3. Riegos relacionados de la energía renovable	6
Figura 4. Agentes contaminantes que causan el efecto invernadero	7
Figura 5. Enjambre estático del comportamiento de la libélula, agrupación en grupos reducidos	8
Figura 6. Enjambre dinámico del comportamiento de emigración de la libélula en enormes grupos	9
Figura 7. Función objetivo del sistema en condiciones iniciales	11
Figura 8. Potencia del sistema en condiciones iniciales	11
Figura 9. Frente óptimo de Pareto del sistema en condiciones iniciales	11
Figura 10. Función objetivo del sistema con inserción del generador fotovoltaico	12
Figura 11. Potencia del sistema con inserción del generador fotovoltaico	12
Figura 12. Frente óptimo de Pareto del sistema con inserción del generador fotovoltaico	12
Figura 13. Resumen e indicador de la temática	18
Figura 14. Indicador de formulación del problema	18
Figura 15. Indicador de solución	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pseudocódigo del algoritmo de la libélula	10
Tabla 2. Matriz de estado del arte	17

DESPACHO ECONÓMICO CONSIDERANDO LA EMISIÓN DE GASES E INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE LIBÉLULAS

Resumen

En los últimos años el despacho económico (DE) ha tomado relevancia, ya que, al pretender solventar la producción de generación a un costo reducido, debe atender la demanda, respetando límites físicos de las unidades generadoras, considerando pérdidas y también los índices de contaminación que producen estas unidades. Este último requerimiento, es muy importante debido a la relación directa que tiene con el calentamiento global, así, al estudiar el DE considerando las emisiones surge el término despacho económico ambiental (DEA) que es un problema no lineal. El presente documento busca solventar este problema mediante el algoritmo de optimización de las libélulas (AL), para validar el AL, se evalúa este en un sistema de prueba de 10 generadores. Se realizan dos casos de estudio, el primero corresponde al sistema en condiciones iniciales sin inserción de generación fotovoltaica y el segundo con la inserción de generación fotovoltaica. De esta manera, se determina la eficacia del AL para sistemas con generación híbridos.

Palabras Clave: Despacho económico, Despacho económico de emisiones, Algoritmo de la libélula, Generación fotovoltaica.

Abstract

In recent years, the economic dispatch (ED) has become relevant, since, by trying to solve the generation production at a reduced cost, it must meet the demand, respecting the physical limits of the generating units, considering losses and also the rates of pollution produced by these units. This last requirement is very important due to the direct relationship it has with global warming, thus, when studying the DE taking emissions into account, the term environmental economic dispatch (DEA) arises, which is a non-linear problem. This document seeks to solve this problem through the optimization algorithm of dragonflies (AL), to validate the AL, it is evaluated in a test system of 10 generators. Two case studies have been carried out, the first corresponds to the system in initial conditions without the insertion of a photovoltaic generator and the second with the insertion of a photovoltaic generator. In this way, the efficiency of the AL will be determined for hybrid systems.

Keywords: Economic dispatch, Economic dispatch of emissions, Dragonfly algorithm, Photovoltaic generation.

1 Introducción

En los últimos años el despacho económico (DE) de unidades generadoras ha tomado relevancia, ya que, al pretender solventar la producción de generación a un costo reducido, debe atender la demanda, respetando límites físicos de las unidades generadoras, considerando pérdidas y también los índices de contaminación que producen estas unidades [1].

Los generadores de combustibles fósiles al producir electricidad desprenden al medio ambiente contaminantes gaseosos como, óxidos de carbono, azufre y nitrógeno. Estos contaminantes afectan sobremanera al medio ambiente y son la principal causa del calentamiento global, por esta razón, es imprescindible tomar en consideración los niveles de emisiones en el DE, de las unidades generadoras, de este modo surge el término despacho económico ambiental (DEA) [2].

Para realizar un DEA correcto, en la documentación se proponen diversos métodos de optimización. Según [3], los métodos de optimización pueden ser clásicos y heurísticos como metaheurísticos. Dentro de la metodología clásica se tienen: el método Lambda, método de la gradiente, multiplicadores de Lagrange y método de programación lineal, estas metodologías no resultan eficientes para solventar el problema de DEA, ya que, otorgan resultados óptimos locales y no globales, esto, debido a la naturaleza no lineal del problema. No obstante, existen metodologías que logran alcanzar un óptimo global, estas son las metodologías heurísticas que están inspiradas en el comportamiento de los fenómenos naturales. En [3] se mencionan algunos metodologías heurísticas, dentro de las cuales se tiene, el algoritmo genético, algoritmos que se basan en el comportamiento de las abejas, optimización de colonias de hormigas, algoritmo de luciérnaga en su entorno, algoritmo de optimización de lobo gris, la búsqueda del

algoritmo del cuco, algoritmo que se basa en el salto de la rana, la optimización basada en la enseñanza, algoritmo de polinización de flores, entre otros.

Cada uno de estos algoritmos han sido puestos en práctica en diferentes campos de la investigación y se ha determinado la eficacia de estos. Si bien existe una cantidad considerable de metodologías heurísticas para solventar el problema de DEA, existen también enjambres de la naturaleza que aún no han sido explorados en su totalidad, un ejemplo claro de estos es el enjambre de las libélulas, insectos elegantes que rara vez son vistos en el ambiente. Por esta razón, el presente documento propone el método del algoritmo de las libélulas (AL) para solventar el problema de DEA. Para validar el AL, se evalúa este en un sistema de prueba de 10 generadores, este sistema ha sido extraído de la literatura, ya que, es ampliamente utilizado para evaluar problemas similares. Debido a la creciente demanda de energía con mayor probabilidad de agotamiento en los combustibles convencionales, junto con la creciente preocupación para la protección del medio ambiente de la contaminación, se han llevado a los investigadores a elaborar una nueva solución para utilizar la energía renovable, entre estas soluciones se encuentra la generación fotovoltaica, que produce electricidad aprovechando la energía solar, en este contexto, se ha realizado dos procesos de estudio, el caso de estudio 1 corresponde al sistema en condiciones iniciales sin inserción de un generador fotovoltaico y el caso de estudio 2 con la inserción de un generador fotovoltaico. Para cada caso de estudio se ha realizado 3 simulaciones para evaluar la convergencia de la función objetivo, se elige la mejor, es decir, aquella que tenga el valor más bajo de la función objetivo, posteriormente, de la simulación ganadora se extrae la valoración de potencia de cada uno de los generadores, el costo de combustible y de emisiones, por último, se

realiza el frente óptimo de Pareto para identificar el punto más eficiente del despacho económico ambiental del sistema de prueba aplicado en este documento.

El documento se ha detallado de la siguiente manera: En la sección del marco teórico se detalla, la revisión de despacho económico energético, factores ambientales y energía solar, en la tercera sección se indica la solución metaheurística utilizado en la problemática del despacho ambiental, en la cuarta sección se indica el análisis de la obtención de resultados, ahí se valida el AL en el sistema de prueba, en la quinta sección se indica las conclusiones donde se analiza los resultados obtenidos y se critica los mismos y por último en la sexta sección se tiene las referencias utilizadas en presente documento.

2 Marco teórico

La problemática del despacho económico (DE) se plantea cuando las unidades de generación tratan de ajustarse a las necesidades de demanda del sistema eléctrico de potencia (SEP) teniendo en cuenta las restricciones de la parte de operación de cada una de las unidades térmicas [4]. El DE es uno de los desafíos que se plantea en la operación de sistemas de potencia, tratándose como un problema de optimización donde su objetivo es tratar de reducir los costos de generación ajustándose a la generalización dada [5]. La parte del DE se efectúa a diario en las estaciones de producción teniendo en cuenta la reducción de costos totales de operación, las limitaciones de las partes técnicas de las unidades de generación que permiten cubrir la demanda [6].

En la presente sección se detallará todo lo concerniente al despacho económico, despacho económico de emisiones, factores ambientales y energía solar.

2.1 Despacho económico energético (DE)

Dentro del despacho económico energético es la planificación de la generación para tratar una demanda pronosticada reduciendo los costos del sistema. El despacho energético tiene como propósito establecer la generación óptima en un sistema reduciendo los costos [7].

Donde la planificación del (SEP) se categoriza en tres clases dependiendo su horizonte: despacho económico energético a largo plazo, lo cual es el planeamiento de duración de la capacidad de expansión del SEP, despacho económico energético a mediano plazo, se examina la parte del mantenimiento, despacho económico energético a corto plazo, examina la etapa diaria de la operación [8].

La planificación del despacho económico energético involucra la distribución de la demanda en la parte de la generación, para que su costo de producción se reduzca [8].

Los costos de producción pueden variar debido a su fuente de producción principal (gas, agua, sol, uranio, carbón entre otros factores ambientales) que es utilizada para generar electricidad [8].

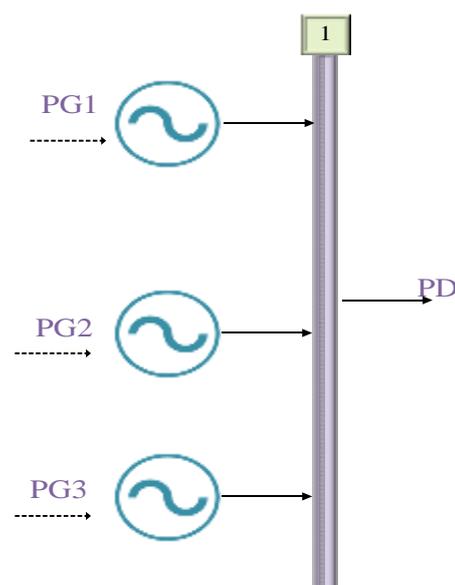


Figura 1. Esquema de un SEP formado por N unidades de producción que abastecen una demanda PD [autor].

2.1.1 Despacho económico de emisiones (DEE)

El despacho económico de emisión de gases contaminantes se considera posible una producción sostenible en una empresa o industria, en las cuales se da un menor nivel de emisiones de gases lo cual afecten a la parte del medio ambiente [9].

El propósito del despacho económico se otorga a la producción global del sistema por medio de las unidades de producción en servicio de modo de reducir el costo global y suministrar la demanda, valorando a las restricciones [5].

La modelación de emisión de gases contaminantes acumula un cierto porcentaje de CO₂ el cual puede llegar a transmitir a un conjunto de centrales térmicas que son despachadas [5]. A continuación, se muestra el modelo matemático:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N C_i P_i \quad (1)$$

$$\sum_i^N P_i \geq D \quad (2)$$

$$P_i \leq P_i \leq \bar{P}_i \quad \forall i = 1 \dots N \quad (3)$$

$$\sum_i^N \tau x P_i \leq Em_t \quad (4)$$

Donde:

C_i : Costo de la unidad de producción.

P_i : Decisión de la producción.

D : Demanda eléctrica.

P_i, \bar{P}_i : Potencia reducida, Potencia máxima del generador.

N : Número de sistema de generadores a colocar.

τ : Índice de emisión de CO₂.

Em_t : Restricción global de emisión de gases generados.

2.1.2 Pronóstico de la generación fotovoltaica

La rapidez con la que crece la demanda de la generación fotovoltaica en el SEP y a su

vez la proyección, la generación de energía producida por plantas o paneles solares, los cuales podrían poner en riesgo la seguridad y confiabilidad del suministro eléctrico [10].

La generación fotovoltaica usualmente depende de los factores geográficos, meteorológicos entre otros factores, debido a esto, la estimación de la generación solar fotovoltaica es una temática de gran importancia dentro del SEP y en el mercado eléctrico [10].

Para lo cual se garantiza la óptima operación del sistema eléctrico el cual se debe coordinar una planificación de despacho de generación, para así evitar un elevado costo de producción reducido, a través de los despachos económicos se podrán generar costos de producción y también generar valores más adecuados para el sistema [10]. En la actualidad se utilizan ampliamente métodos heurísticos y estadísticos y de forma dinámica los cuales son aprovechados en el análisis del DE [10].

2.1.3 Despacho económico ambiental (DEA)

Dentro del despacho económico ambiental (DEA) de centrales termoeléctricas convencionales busca reducir contaminantes atmosféricos como: liberación de gases, dióxido de carbono CO₂, óxido de nitrógeno NO_x, dióxido de azufre SO₂ [11].

En las últimas décadas, la parte de los agentes contaminantes se ha vuelto una problemática a nivel general, el sector industrial es una fuente principal de liberación de emisión de SO₂ y óxido de nitrógeno NO_x [12].

El total de restricciones de equidad representan las ecuaciones de flujo de potencia activa como flujo de potencia reactiva, el tipo de reducción de desequilibrio es la limitación que establecen las variables de control [13].

Esta investigación se basa en la expansión diferencial del multiobjetivo para

la problemática del DEA [14], las limitaciones se presentan de la siguiente manera:

El objetivo del DEA es reducir los costos de combustibles de cada una de las unidades de generación, teniendo que abastecer la demanda de cada una de las unidades de generación existentes, la función objetivo del sistema se expresa a través de la expresión cuadrática de cada uno de los generadores existentes en el sistema [11], se expresa en ecuación (5).

$$F(P_{Gi}) = \sum_{i=1}^{N_G} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (5)$$

Donde:

a_i, b_i, c_i : Representan los coeficientes de costos i-ésimo del generador.

P_{Gi} : Representa la potencia activa del generador.

N_G : Representa la cantidad de generadores totales.

El DEA tiene como finalidad el decrecimiento de la parte de los gases que son causados por el efecto invernadero dentro de ello la contaminación ambiental, entre ellos la liberación de gases, dióxido de carbono CO₂, óxido de nitrógeno NO_x, dióxido de azufre SO₂, quema de combustibles fósiles [14], se expresa en ecuación (6).

$$F(P_{Gi}) = \sum_{i=1}^{N_G} (\alpha_i + \beta_i P_{Gi} + \gamma_i P_{Gi}^2 + \lambda_i \exp(\eta_i P_{Gi})) \quad (6)$$

Donde:

$\alpha_i, \gamma_i, \lambda_i, \eta_i$: Representa la parte de emisión de la i-ésima unidad de generación.

Restricción de igualdad, mientras se reduce la función objetivo la generación satisface la demanda de la potencia de las pérdidas existentes en las líneas de

transmisión [14], se expresa en ecuación (7).

$$\sum_{i=1}^{N_G} (P_{Gi}) = P_D + P_{Loss} \quad (7)$$

Donde:

P_D : Representa la demanda.

P_{Loss} : Representa las pérdidas existentes en las líneas de transmisión.

Pérdidas en las líneas de transmisión expresada en la ecuación (8).

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^{N_G} \sum_{j=1}^{N_G} P_{Gi} B_{ij} P_{Gj} + \sum_{i=1}^{N_G} B_{Oi} P_{Gi} + B_{O0} \quad (8)$$

Donde:

B_{ij}, B_{Oi}, B_{O0} : Representan los coeficientes de pérdidas.

Dentro de las restricciones se encuentran desigualdades que se refieren a los límites de potencia de las unidades de generación [11], se expresa en la ecuación (9).

$$P_{Gi}^{Min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{Max}, \quad i = 1, 2, \dots, N_G \quad (9)$$

El valor reducido de la función objetivo dentro de la retención de equidad y desigualdad [11], se expresa en la ecuación (10).

$$\begin{aligned} \text{minimo}\{C_T(P_{Gi}) &= w \cdot F(P_{Gi}) \\ &+ h \cdot (1 \\ &- w) \cdot E(P_{Gi})\} \end{aligned} \quad (10)$$

Dadas las restricciones (7), (9) se toma el valor más alto de los costos y la emisión más alta que se produce [11], se expresa en la ecuación (11).

$$h_i \frac{F(P_{Gi}^{Max})}{E(P_{Gi}^{Max})}, \quad i = 1, 2, \dots, N_G \quad (11)$$

2.2 Factores ambientales

La energía eléctrica es un componente esencial en la vida cotidiana, los usuarios usan la electricidad para distintos propósitos como en la parte de la iluminación, aire acondicionado, la parte de operación de máquinas [15].

El rendimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables promueve apoyar el medio ambiente ayudando a alcanzar una independencia energética [16].

En esta investigación se realiza una revisión a través de un modelado matemático, donde el consumo energético (biomasa) es necesario [16].

Los factores ambientales, se basan en el aprovechamiento de recursos naturales lo cual representan factores de exposición ambiental, como la contaminación atmosférica, debido a la elevación de dióxido de carbono, permitiendo un impacto invernadero [17].

La disminución, la reducción del impacto de los gases que son causados por el efecto invernadero se vuelve una problemática actualmente, para lo cual se propone un mejoramiento económico-social que se orienta a la producción de mecanismos de ajuste a través del aumento económico, permitiendo usar tecnologías que permitan reducir la parte de la liberación y la combinación de gases [18].

2.2.1 Impacto ambiental

Es un elemento esencial para la actividad de los sistemas de energía eléctrica lo cual están relacionados con la operación de generación y a las emisiones que llegan a ser producidas [8].

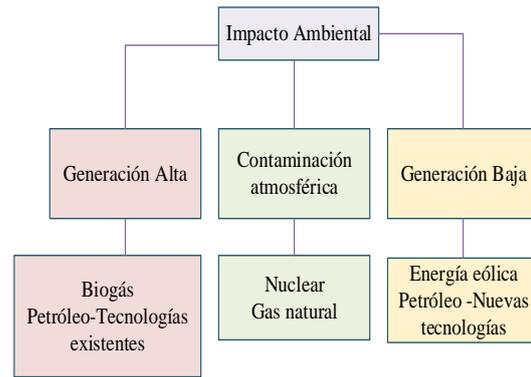


Figura 2. Tipos del impacto ambiental en el sector eléctrico causando la productividad de gases que causa el efecto invernadero [autor].

El sector eléctrico tiene un efecto negativo referente al medio ambiente, su operación dentro del sector eléctrico llega a generar cargas ambientales que afectan al entorno y al medio natural [19].

La finalidad del desarrollo sustentable para disminuir la emisión de anhídrido carbónico constituye una enorme medida sobre la cantidad de gases de efecto producidos, donde la energía renovable permite tener una reducción de costos y una descarbonización de menor costo [19].

La energía renovable es un componente primordial que influye en la liberación de CO₂, el uso de energía renovable y la innovación de energía verde que impiden el empeoramiento ambiental [19], las clases de riesgos se presentan en la figura 3.

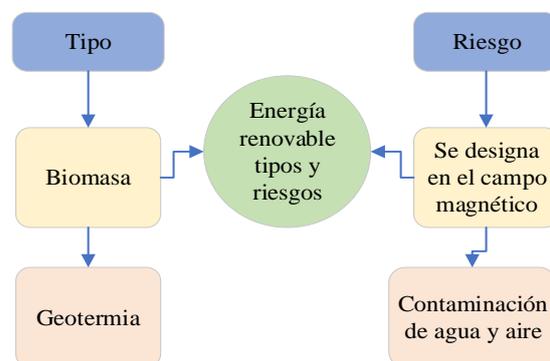


Figura 3. Riesgos relacionados de la energía renovable [autor].

La energía eólica y la energía fotovoltaica producen efectos ambientales que son considerablemente menores a la energía convencional, los cuales emiten contaminantes y sustancias peligrosas [19].

2.2.2 Emisión de CO₂

El incremento de concentración de CO₂ en el ambiente es ocasionado por la actividad humana lo cual es el primordial elemento responsable del aumento del efecto invernadero [20].

Las centrales termoeléctricas convencionales producen agentes contaminantes que se visualizan en la figura 4, los cuales son provocados por el efecto invernadero [5].



Figura 4. Agentes contaminantes que causan el efecto invernadero [autor].

La quema del carbón puede tener consecuencias las cuales afectan al ser humano, produciendo así el calentamiento global y la liberación de gases como son: CO₂, SO₂ y NO_x [21].

Las emisiones de los combustibles fósiles es un peligro creciente debido a que causa el efecto invernadero y contamina el ambiente, para lo cual existen fuentes de energía alternativas como es la quema de combustibles fósiles, el petróleo que se categoriza por ser un combustible dentro de los de primer orden, el carbón y su

importancia dentro de la maquinaria de la industria y gas natural [21].

El manejo de combustibles fósiles es una problemática ambiental más considerable en el rendimiento energético a partir de las centrales térmicas de producción [21].

2.3 Energía solar

La creciente demanda de energía con mayor probabilidad de agotamiento en los combustibles convencionales, junto con la creciente preocupación para proteger la parte del ecosistema de la contaminación, ha llevado a los investigadores a desarrollar una nueva solución para utilizar la energía renovable. Además, el consumo de combustibles fósiles resulta la emisión de liberación los gases que son causados por el efecto invernadero produciendo el calentamiento del planeta, poniendo en peligro la humanidad futura. Teniendo en cuenta todos estos factores, la energía renovable es una de las mejores soluciones que proporcionará suficiente y también una energía limpia. Los recursos de energía renovable disponibles son energía solar, la generación eólica, la energía hidroeléctrica, pila de combustible (FC), etc. Entre estos, la energía solar es una fuente verde confiable, prometedora y libre de contaminación para satisfacer la creciente demanda [22], permitiendo la reducción del efecto invernadero. La energía se puede extraer de la irradiación solar utilizando sistema fotovoltaico (PV). La parte del sistema fotovoltaico convierte la luz solar en energía utilizando principios del efecto fotovoltaico. Cada vez que la luz cae sobre una celda fotovoltaica, la electricidad del fotón se transfiere a la parte de portadores de carga.

Los portadores de carga se dividen en huecos cargados positivamente y electrones cargados negativamente debido al campo eléctrico a través de la unión. Esto da como resultante el flujo de corriente si se proporciona una ruta cerrada al circuito conectando una carga. El sistema solar

fotovoltaico se compone de un módulo fotovoltaico, técnicas Maximum Power Point Tracker sus siglas en inglés (MPPT), un convertidor CC-CC y un inversor [23].

El panel solar aspira la luz solar y la cambia a energía. La técnica MPPT se utiliza para extraer la máxima potencia del panel solar y ponerla a disposición de la carga. Bajo todas las condiciones atmosféricas variables, MPPT siempre mejora la extracción máxima de energía del panel. Se utiliza un convertidor CC-CC como interfaz entre el módulo fotovoltaico y la carga en el sistema fotovoltaico. Dado que la energía solar es de naturaleza intermitente, se proporciona un respaldo de energía adecuado utilizando elementos de almacenamiento como batería, supercondensador, entre otros [24].

Para cargas y redes de CA, se emplea un inversor para convertir CC en CA. Se estima que el 16% de la energía requerida en el mundo se puede obtener de la generación de energía fotovoltaica para 2050 [25]. El principal inconveniente de la generación de energía solar en su baja eficiencia de cambio de energía va entre el 9% y el 17 % y la salida del panel solar depende de las condiciones atmosféricas y la temperatura [26].

Los problemas mencionados anteriormente se pueden mitigar empleando convertidores apropiados y técnicas MPPT. Además, la literatura reciente revela que se han llevado a cabo más investigaciones para aumentar el rendimiento del sistema fotovoltaico. La eficiencia se puede aumentar implementando material altamente eficiente para la fabricación de células solares, encontrando técnicas MPPT apropiadas para identificar el punto de máxima potencia y evitar problemas de desajuste de carga y en convertidores DC-DC [26].

De esta manera, el presente documento planea la inserción de generación fotovoltaica a un sistema de prueba para el DEA, así al aplicar la metodología del

presente documento se podrá evaluar el sistema antes y después de la inserción de generación fotovoltaica.

3 Solución metaheurística utilizado en la problemática del despacho ambiental

Las soluciones metaheurísticas se crearon a base de la inspiración de la naturaleza, para realizar varios tipos de problemas de optimización siendo flexibles y lo cual no son difíciles de implementar, los algoritmos metaheurísticos adquieren mejor los subconjuntos de detección para poder obtener determinaciones óptimas [27].

3.1 Algoritmo de la libélula (AL)

El Algoritmo de libélulas (AL) un nuevo método de optimización metaheurístico que fue propuesto por Seyedali Mrijalili en el año 2015 inspirado en la naturaleza, el algoritmo de la libélula se utiliza para hallar la solución óptima de los problemas del SEP [28].

En la investigación de este trabajo se aplica el comportamiento de la libélula mediante la optimización, y su ciclo en la naturaleza, el cual parte de dos fases el primero se denomina enjambre estático [6], se refiere a la alimentación de las libélulas, en el cual las libélulas vuelan en pequeñas agrupaciones buscando alimento [29]. El segundo grupo se denomina enjambre dinámico [6], referente a la emigración y el comportamiento de las libélulas, donde las libélulas viajan a largas distancias en enormes agrupaciones buscando en donde acoplarse [30].

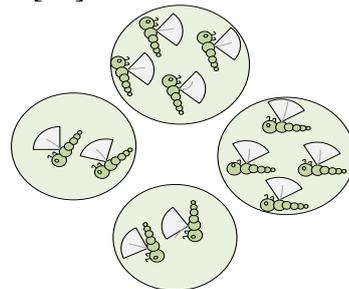


Figura 5. Enjambre estático del comportamiento de la libélula, agrupación en grupos reducidos [autor].

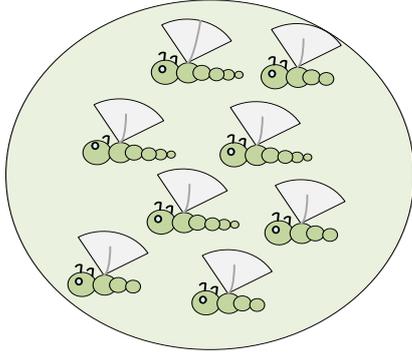


Figura 6. Enjambre dinámico del comportamiento de emigración de la libélula en enormes grupos [autor].

En el desempeño del enjambre de libélulas, se caracteriza por usar los cinco comportamientos de la libélula en la naturaleza [31]. Se detalla el modelo matemático del comportamiento de las libélulas en las siguientes ecuaciones.

La separación, es un esquema de un agente que busca permanecer alejado de los agentes de búsqueda [31], la interpretación matemática se representa en (12) ecuación.

$$S_i = \sum_{j=1}^N X - X_j \quad (12)$$

La alineación menciona a un sujeto como compara la rapidez con otros sujetos residentes [30], lo cual se expresa en (13) la rapidez del residente.

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^N V_j}{N} \quad (13)$$

La cohesión se expresa en (14) se refiere al movimiento de los sujetos y su rapidez [30].

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} - X \quad (14)$$

La atracción se refiere al movimiento de los individuos buscando su alimento, en la

(15) expresa matemáticamente la ubicación de la fuente de alimentación [30].

$$F_i = F_{loc} - X \quad (15)$$

La distracción se expresa en (16) se refiere a la trayectoria de retirarse de los enemigos de la naturaleza [30].

$$E_i = E_{loc} + X \quad (16)$$

Donde:

- X : Interpreta la localización existente.
- X_j : Interpreta el residente.
- N : Interpreta la magnitud de la localidad.
- V_j : Interpreta la velocidad de las libélulas.
- F_{loc} : Interpreta la ubicación de la fuente de sustento.
- E_{loc} : Interpreta la ubicación de los enemigos.

La ubicación del vector (ΔX) y (X) representan la dirección del movimiento de la libélula se expresa en la ecuación (17).

$$\Delta X_{t+1} = (sS_i + aA_i + cC_i + fF_i + eE_i) + wX_t X \quad (17)$$

Donde:

- ΔX : Interpreta el vector paso.
- X : Interpreta el vector ubicación.
- s, a, c, f, e, w : Interpreta la división de S_i , y el ciclo de la libélula.
- A_i : Representa a la alineación de la libélula en la naturaleza.
- C_i : Interpreta la cohesión de las libélulas.
- F_i : Atracción en busca de la fuente de sustento de la libélula en su entorno con la naturaleza.
- E_i : Distracción de enemigos en su entorno

Se expresa la ubicación del individuo en la ecuación (18).

$$X_{t+1} = X_t + \Delta X_{t+1} \quad (18)$$

Durante la última etapa de optimización de la libélula se unen y forman el enjambre dinámico para resolver la optimización global. Utilizando el mecanismo de Levy se actualiza la posición de las libélulas [31], se expresa en la ecuación (19).

$$X_{t+1} = X_t + Levy(d) * X_{t+1} \quad (19)$$

Donde:

X : Representa el número de repeticiones existentes.

$Levy(d)$: Representa la parte de la dimensión de cada uno de los vectores en su posición.

3.2 Modelación matemática

El algoritmo de la libélula empieza el proceso de optimización por medio de la creación de un grupo de soluciones aleatorias, para resolver una problemática de optimización en particular. Es decir, los vectores de posición y de paso de las libélulas se inicializan en valores aleatorios definidos dentro de los límites superiores e inferiores de las distintas variables. En cada iteración, el paso y posición de cada libélula se actualizan mediante las ecuaciones (17), (18) y (19). Esta actualización continúa iterativamente hasta llegar a encontrar un óptimo global al problema de optimización. En la Tabla 1, se aprecia el pseudocódigo del algoritmo de la libélula.

Tabla 1. Pseudocódigo del algoritmo de la libélula

Algoritmo propuesto	
Inicio	
Paso 1:	Inicializar la población de libélulas $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$
Paso 2:	Inicializar los vectores de paso $\Delta x_i (i = 1, 2, \dots, n)$
Paso 3:	While no se cumpla la condición final Calcular valores objetivos de todas las libélulas Actualizar fuentes de alimento y distracción del enemigo

Actualizar w, s, a, c, f y e
Calcular S, A, C, F y E empleando las ecuaciones (12) y (16)
Actualizar el radio vecino

Si una libélula tiene al menos una libélula vecina
Actualizar el vector velocidad usando la ecuación (17)
Actualizar el vector de posición usando la ecuación (18)

else

Actualizar el vector de posición empleando la ecuación (19)

end if

Verificar y corregir las nuevas posiciones en función de los límites de las variables

end while

Fin

4 Análisis de resultados

El método enfocado para realizar un correcto despacho económico tomando en consideración restricciones ambientales, se ha evaluado en un sistema de 10 generadores, sistema ampliamente usado en la literatura para tratar temas similares al de este documento. Se ha realizado dos casos de estudio en este sistema de prueba, el caso de estudio 1 denota el sistema en condiciones iniciales y el caso de estudio 2 el sistema con la integración de un generador fotovoltaico. Para cada caso de estudio se ha realizado 3 simulaciones para evaluar la convergencia de la función objetivo, se elige la mejor, es decir, aquella que tenga el valor más bajo de la función objetivo, posteriormente, de la simulación ganadora se extrae el valor de la potencia de cada uno de los generadores, el costo de combustible y de emisiones, por último, se realiza el frente óptimo de Pareto para identificar el punto más eficiente del DEA del sistema de prueba.

Este algoritmo se realiza en el software Matlab R2021b® en un computador marca

DELL con las siguientes características: Intel(R) Core (TM) i7-7500U CPU @ 2.70GHz, con una memoria RAM de 16 GB instalada, sistema operativo de 64bits.

Al simular el sistema de prueba se ha tomado en consideración 60 iteraciones y 80 agentes de búsqueda del algoritmo planteado (libélulas), estos valores se han tomado con el afán de incrementar la precisión del resultado óptimo global del sistema.

4.1 Caso de Estudio 1

Dentro del caso de estudio 1, se evaluará el sistema de 10 generadores en condiciones iniciales sin inserción del generador fotovoltaico, este sistema tiene una demanda de 2000 MW.

En la Figura 7, se aprecia las 3 simulaciones al sistema de 10 generadores en condiciones iniciales, la simulación 3, es aquella que tiene los valores más eficientes de convergencia, ya que, se estabiliza más pronto, exactamente en la iteración 36 con un tiempo de 9.39 [s], y, además, tiene el valor más bajo de función objetivo que es \$323330.

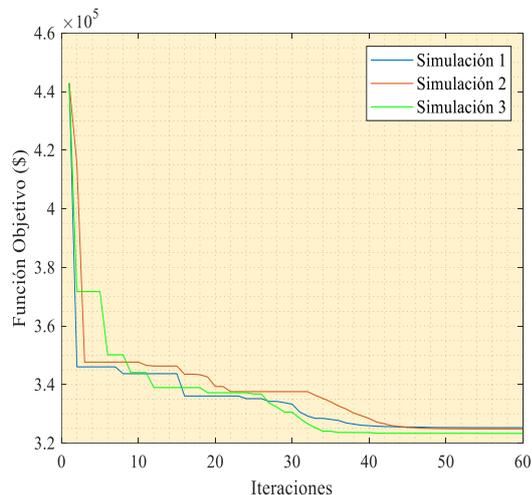


Figura 7. Función objetivo del sistema en condiciones iniciales.

En la Figura 8, se aprecia la evidencia de valores de potencia de cada unidad generadora, el generador 9 es aquel que aportará más potencia al sistema con un valor de 434.39 MW, mientras que el

generador de menos aportación es el generador 1, con 52.31 MW.

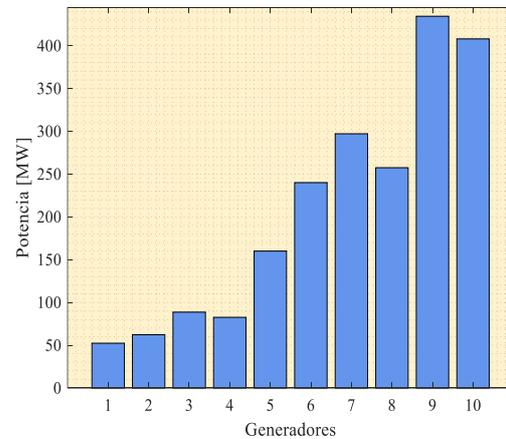


Figura 8. Potencia del sistema en condiciones iniciales

En la Figura 9, se aprecia el frente óptimo de Pareto para el sistema en condiciones iniciales, según los resultados obtenidos por el algoritmo el despacho eficiente tendrá un costo de combustible de \$116158.95 y un costo de emisiones de 3983.93 [lb].

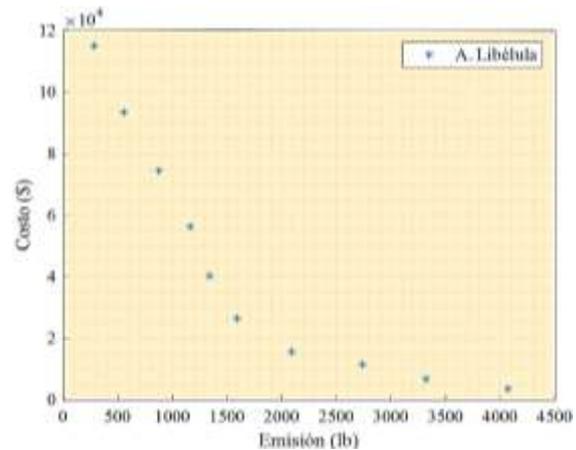


Figura 9. Frente óptimo de Pareto del sistema en condiciones iniciales.

4.2 Caso de estudio 2

Dentro del caso de estudio 2, se evaluará el sistema de 10 con inserción del generador fotovoltaico, este sistema tiene una demanda de 2000 MW.

En la Figura 10, se aprecia las 3 simulaciones al sistema de 10 generadores en condiciones iniciales, la simulación 2, es aquella que tiene los valores más eficientes de convergencia, ya que, se estabiliza más

pronto, exactamente en la iteración 45 con un tiempo de 12.41 [s], y, además, tiene el valor más bajo de función objetivo que es \$307954.

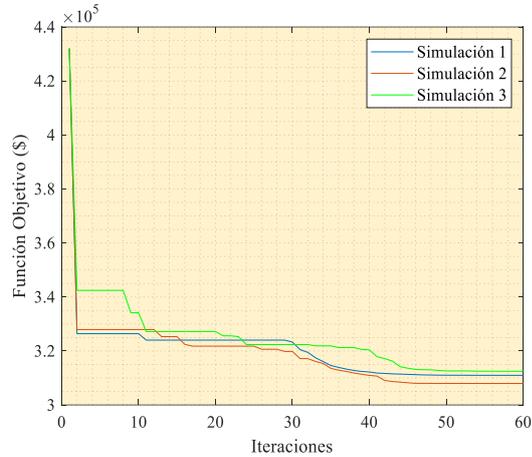


Figura 10. Función objetivo del sistema con inserción del generador fotovoltaico.

En la Figura 11, evidencia los valores de potencia de cada unidad generadora, el generador 9 es aquel que aportará más potencia al sistema con un valor de 402.93 MW, mientras que el generador de menos aportación es el generador 1, con 55 MW.

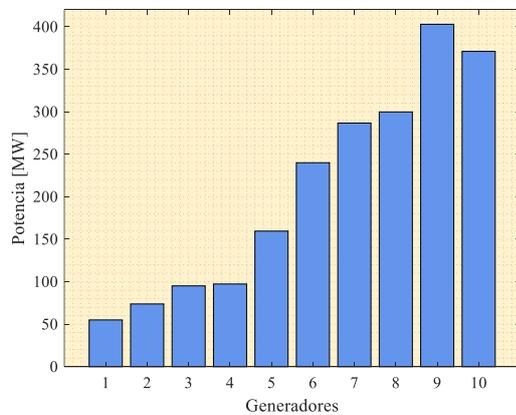


Figura 11. Potencia del sistema con inserción del generador fotovoltaico.

En la Figura 12, se aprecia el frente óptimo de Pareto para el sistema en condiciones iniciales, según los resultados obtenidos por el algoritmo el despacho eficiente tendrá un costo de combustible de \$115281.71 y un costo de emisiones de 3705.46 [lb].

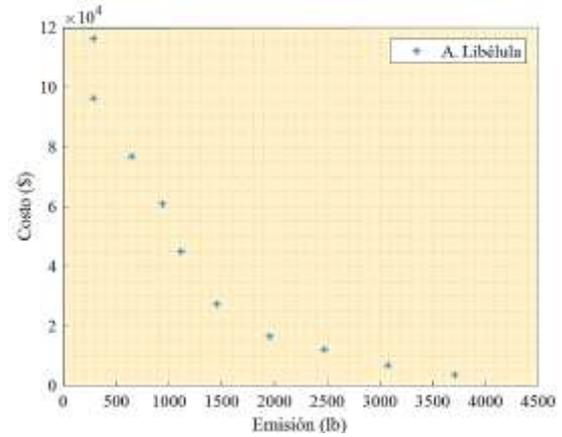


Figura 12. Frente óptimo de Pareto del sistema con inserción del generador fotovoltaico.

5 Conclusiones

El presente documento propuso un algoritmo novedoso que está inspirado en el comportamiento de los enjambres de las libélulas en la naturaleza. Se analizan comportamientos estáticos y dinámicos para explorar el espacio de búsqueda, lo que le hace interesante a este algoritmo son los parámetros empleados para evaluar el sistema, se emplean parámetros de cohesión, alineación, separación, atracción a las fuentes de alimento y distracción a los enemigos, así se otorga un resultado óptimo global a cualquier sistema de prueba.

El algoritmo se ha evaluado en un sistema de 10 generadores y se ha realizado dos casos de estudio, donde el estudio 1 corresponde al sistema en condiciones iniciales sin inserción de un generador fotovoltaico y el caso de estudio 2 con la inserción de un generador fotovoltaico. Para cada caso de estudio se ha realizado 3 simulaciones para evaluar la convergencia de la función objetivo, se elige la mejor, es decir, aquella que tenga el valor más bajo de la función objetivo, posteriormente, de la simulación ganadora se extrae los datos de potencia de cada uno de los generadores, el costo de combustible y de emisiones, por último, se realiza el frente óptimo de Pareto para identificar el punto más eficiente del despacho económico ambiental del sistema de prueba.

En el caso de estudio 1, la simulación 3 es aquella que tiene los valores más eficientes de convergencia, ya que, se estabiliza más pronto, exactamente en la iteración 36 con un tiempo de 9.39 [s], y, además, tiene el valor más bajo de función objetivo que es \$323330. Por otro lado, el generador 9 es aquel que aportará más potencia al sistema con 434.39 MW, mientras que el generador de menos aportación es el generador 1, con 52.31 MW. Por último, el sistema cuenta con un precio de combustible de \$116158.95 y un costo de emisiones de 3983.93 [lb].

En el caso de estudio 2, la simulación 2 es aquella que tiene los valores más eficientes de convergencia, ya que, se estabiliza más pronto, exactamente en la iteración 45 con un tiempo de 12.41 [s], y, además, tiene el valor más bajo de función objetivo que es \$307954. Por otro lado, el generador 9 es aquel que aportará más potencia al sistema con 402.93 MW, mientras que el generador de menos aportación es el generador 1, con 55 MW. Por último, el sistema tiene un precio de combustible de \$115281.71 y un precio de emisiones de 3705.46 [lb].

Se aprecia que, con la inserción de un generador fotovoltaico al sistema, la convergencia de la función objetivo se tarda 3.02 [s] más, además, el despacho de cada unidad generadora se comparte de mejor manera, ya que, el máximo aporte es de 402.93 MW del generador 9, es decir, se ha reducido 31.46 MW de generación, así, este generador ya no estará sobrecargado. Por otro lado, se evidencia que, con un generador fotovoltaico, existe una reducción de combustible de \$877.24 y una reducción de emisiones de 278.47 [lb].

5.1 Trabajos futuros

Para trabajos futuros se puede aplicar el algoritmo de libélulas a distintos campos, dada su eficiencia y precisión para obtener un resultado óptimo global.

Es posible hibridar el algoritmo de libélulas con otros ya conocidos para mejorar el tiempo que tarda en otorgar resultados el algoritmo propuesto.

Este algoritmo puede ser puesto a prueba en sistemas más grandes y complejos para evaluar su eficiencia.

6 Referencias

- [1] S. Sharifi, M. Sedaghat, P. Farhadi, N. Ghadimi, and B. Taheri, "Environmental economic dispatch using improved artificial bee colony algorithm," *Evol. Syst.*, vol. 8, no. 3, pp. 233–242, 2017, doi: 10.1007/s12530-017-9189-5.
- [2] F. Ruiz-Tipán and A. Valenzuela, "Literary review of economic environmental dispatch considering bibliometric analysis," *Iteckne*, 2021, doi: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2631>.
- [3] F. Ruiz-Tipán and A. Valenzuela, "Despacho económico en centrales de generación térmicas considerando restricciones económicas y ambientales para la operación en isla de una red eléctrica industrial," pp. 851–871, 2022, doi: 10.34115/basrv6n3-002.
- [4] Á. P. Clavijo Reyes, "Despacho económico de una red de energía eléctrica," 2015.
- [5] P. Alzadora, "Utilización del patrón MVC en el desarrollo de programas de optimización: Caso aplicado al despacho económico con restricción de emisión de gases contaminantes," 2020.
- [6] J. Bessa, "Otimização de estratégias de oferta em mercado usando previsão probabilística de produção renovável," 2021.
- [7] Z. Younes, I. Alhamrouni, S. Mekhilef, and M. Rezasudin, "A memory-based gravitational search algorithm for solving economic

- dispatch problem in micro-grid,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 1985–1994, 2021, doi: 10.1016/j.asej.2020.10.021.
- [8] C. A. C. A. G, A. Abur, F. L. Alvarado, C. Alvarez, and A. Fern, “Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica,” A. Abur, F. L. Alvarado, C. Alvarez, and A. Fern, “Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica.”
- [9] M. Yaucén Pita, “Propuesta de un plan de mejoras eco-eficientes, fundamentado en los resultados del análisis de consumo energético y el inventario de gases de efecto invernadero (GEI) de una institución pública en el período,” vol. 2507, no. February, pp. 1–9, 2020.
- [10] D. On, “Despacho económico de generación considerando pronóstico de la demanda, fuentes de energía renovable y almacenamiento de energía,” p. 96, 2020.
- [11] E. H. Talbi, L. Abaali, R. Skouri, and M. El Moudden, “Solution of Economic and Environmental Power Dispatch Problem of an Electrical Power System using BFGS-AL Algorithm,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 170, no. 2019, pp. 857–862, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.03.144.
- [12] C. Li, “Multi-objective optimization of space adaptive division for environmental economic dispatch,” *Sustain. Comput. Informatics Syst.*, vol. 30, no. December 2020, p. 100500, 2021, doi: 10.1016/j.suscom.2020.100500.
- [13] E. Muela, “DESPACHO ECONÓMICO AMBIENTAL CON VARIABLES DIFUSAS Y.pdf,” no. September, p. 2015, 2015.
- [14] M. Basu, “Economic environmental dispatch using multi-objective differential evolution,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 11, no. 2, pp. 2845–2853, 2011, doi: 10.1016/j.asoc.2010.11.014.
- [15] M. Jongprasithporn, A. Martsri, S. Phuangkaew, W. Yeamma, and N. Yodpijit, “Environmental analysis of biomass power plants for sustainability in Thailand,” *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, vol. 2017-Decem, pp. 1222–1226, 2018, doi: 10.1109/IEEM.2017.8290087.
- [16] E. Diaconu, A. Enescu, H. Andrei, and S. Deleanu, *Numerical Approaches of Biomass Plants Efficiency*. Springer International Publishing, 2021.
- [17] R. Ladino, “La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia,” *Pontif. Univ. Javeriana. Bogota, D.C., Marzo 2011*, pp. 1–136, 2011, [Online]. Available: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/1085/1/LadinoPeraltaRafaelEduardo2010.pdf>.
- [18] A. Yepes and M. S. Buckeridge, “Respuestas De Las Plantas Ante Los Factores Ambientales Del Cambio Climático Global - Revisión,” *Colomb. For.*, vol. 14, no. 2, p. 213, 2011, doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2011.2.a06.
- [19] Y. A. Medvedkina and A. V. Khodochenko, “Renewable Energy and Their Impact on Environmental Pollution in the Context of Globalization,” *2020 Int. Multi-Conference Ind. Eng. Mod. Technol. FarEastCon 2020*, pp. 2020–2023, 2020, doi: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271508.
- [20] V. Alcántara Escolano and E. Padilla, “Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo,” *Rev. Econ. Crítica*, vol. 4, pp. 17–37, 2005.

- [21] M. Ş. Üney and N. Çetinkaya, “Comparison of CO₂ emissions fossil fuel based energy generation plants and plants with Renewable Energy Source,” *Proc. 2014 6th Int. Conf. Electron. Comput. Artif. Intell. ECAI 2014*, pp. 29–34, 2015, doi: 10.1109/ECAI.2014.7090175.
- [22] K. H. Chao, S. H. Ho, and M. H. Wang, “Modeling and fault diagnosis of a photovoltaic system,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 78, no. 1, pp. 97–105, 2008, doi: 10.1016/j.epsr.2006.12.012.
- [23] M. Cumbajín, L. Ramírez, and C. Gordón, “Integración de energías renovables en sistemas de energía eléctrica convencionales basados en confiabilidad computacional,” *RISTI Iber. J. Inf. Syst. Technol. / Rev. Ibérica Sist. e Tecnol. Informação*, no. E19, pp. 391–391–402, 2019, [Online]. Available: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=137920905&site=eds-live>.
- [24] J. E. Macías Centeno, L. A. Valarezo Molina, and G. Loor Castillo, “Los Diferentes Costos que Tiene la Energía Eléctrica en el Ecuador Considerando los Cambios de la Estructura Actual,” *Rev. Investig. en Energía, Medio Ambient. y Tecnol. RIEMAT ISSN 2588-0721*, vol. 3, no. 2, p. 29, 2018, doi: 10.33936/riemat.v3i2.1628.
- [25] C. Hua, J. Lin, and C. Shen, “Implementation of a DSP-controlled photovoltaic system with peak power tracking,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 45, no. 1, pp. 99–107, 1998, doi: 10.1109/41.661310.
- [26] T. Ma, H. Yang, and L. Lu, “Solar photovoltaic system modeling and performance prediction,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 36, pp. 304–315, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.04.057.
- [27] J. D. Mello-Roman and A. Hernandez, “KPLS optimization with nature-inspired metaheuristic algorithms,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 157482–157492, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3019771.
- [28] H. Chen, D. Liu, L. Han, S. Yao, C. Jin, and X. Hu, “A spark-based distributed dragonfly algorithm for feature selection,” *15th Int. Conf. Comput. Sci. Educ. ICCSE 2020*, no. Iccse, pp. 419–423, 2020, doi: 10.1109/ICCSE49874.2020.9201896.
- [29] F. Lagos, R. Soto, and G. Astorga, “Refuerzo de puentes mediante conversión en arco atirantado usando el algoritmo de la Libélula,” no. June, pp. 19–22, 2019.
- [30] X. Cui, Y. Li, J. Fan, T. Wang, and Y. Zheng, “A Hybrid Improved Dragonfly Algorithm for Feature Selection,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 155619–155629, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3012838.
- [31] B. A. S. Emambocus, M. B. Jasser, A. Mustapha, and A. Amphawan, “Dragonfly algorithm and its hybrids: A survey on performance, objectives and applications,” *Sensors*, vol. 21, no. 22, pp. 1–33, 2021, doi: 10.3390/s21227542

6.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 21: Matriz de estado del arte.

DESPACHO ECONÓMICO CONSIDERANDO LA EMISIÓN DE GASES E INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE LIBÉLULAS																													
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA						FORMULACION DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN						SOLUCIÓN PROPUESTA				
				Costos de producción	Despacho económico energético a mediano plazo	Despacho económico energético a corto plazo	Energías renovables	Combustibles fósiles	Despacho económico	Despacho económico de emisiones	Factores ambientales	Despacho económico ambiental	Impacto ambiental	Emisión de gases contaminantes	Demanda de energía	Combustibles convencionales	Función objetivo	Múltiples relaciones de combustibles	Métodos de optimización heurísticos y metaheurísticos	Algoritmo genético	Optimización de lobo gris	Multiplicador Lagrange	Algoritmo de la libélula	Flujos óptimos de potencia	Programación lineal	Multiplicador Lagrange	Programación lineal y cuadrática	Metaheurísticos	Algoritmos inspirados en la naturaleza
1	2017	Environmental economic dispatch using improved artificial bee colony algorithm	51	✗	□	□	✗	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	✗	✗	□	✗	□	□	□	✗	✗	✗	□	□	□
2	2021	Literary review of economic environmental dispatch considering bibliometric analysis	1	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
3	2022	Despacho económico en centrales de generación térmicas considerando restricciones económicas y ambientales para la operación en isla de una red eléctrica industrial	0	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
4	2015	Despacho económico de una red de energía eléctrica	0	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗
5	2020	Utilización del patrón MVC en el desarrollo de programas de optimización: Caso aplicado al despacho económico con restricción de emisión de gases contaminantes	1	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
6	2021	Otimização de estratégias de oferta em mercado usando previsão probabilística de produção renovável	0	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
7	2021	A memory-based gravitational search algorithm for solving economic dispatch problem in micro-grid	33	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
8	2002	Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica	298	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
9	2020	Propuesta de un plan de mejoras eco-eficientes, fundamentado en los resultados del análisis de consumo energético y el inventario de gases de efecto invernadero (GEI) de una institución pública en el período	1	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
10	2020	Despacho económico de generación considerando pronóstico de la demanda, fuentes de energía renovable y almacenamiento de energía	0	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

6.2 Resumen de Indicadores

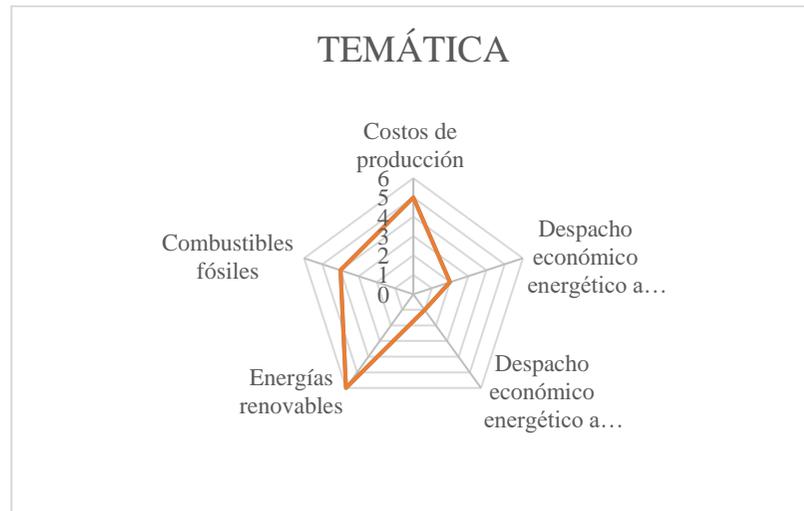


Figura 13. Resumen e indicador de la temática.

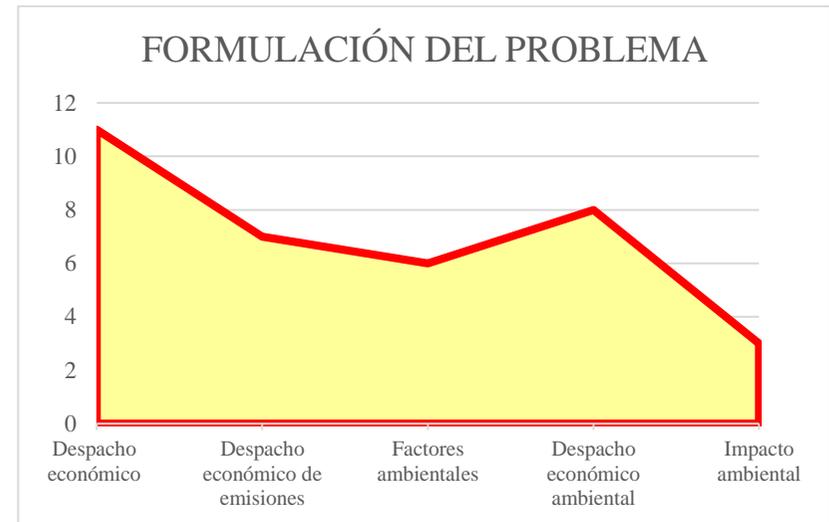


Figura 14. Indicador de formulación del problema.

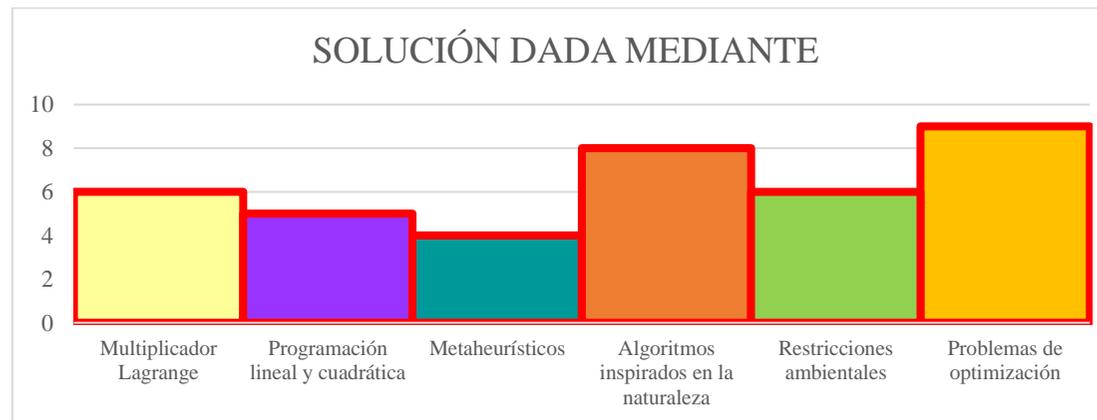


Figura 15. Indicador de solución