

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**  
**Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas**  
**Escuela Profesional de Informática**



**Sistema de control y prevención para disminuir el consumo  
irresponsable de energía eléctrica y emisiones GEI usando  
Estrategias de Programación Divide y Vencerás y Fuerza  
Bruta**

**Nombre del curso:** Algoritmos y Complejidad

**Integrantes del grupo:**

- 1.- Julián García Fabricio Leonardo
- 2.- Mendez Cruz Angely Yahayra
- 3.- Mendez Cruz Ciara Solange

**Docente del Curso:** Dr. Rodríguez Melquiades José Antonio

**Trujillo - La Libertad**

**2022**

# **Sistema de control y prevención para disminuir el consumo irresponsable de energía eléctrica y emisiones GEI usando Estrategias de Programación Divide y Vencerás y Fuerza Bruta**

Monografía presentada en el curso Algoritmos y Complejidad como trabajo final del curso, es el producto logrado con los conocimientos adquiridos durante la I y II y III unidad, enfatizando en las estrategias de programación divide y vencerás y fuerza bruta analizando su complejidad algorítmica, del mismo modo enfocándonos en la problemática del irresponsable uso de energía eléctrica y emisiones de GEI en nuestro país y en el mundo.

Trujillo - La Libertad  
2022

## **Resumen**

El presente trabajo planteó como objetivo principal, implementar un sistema de control y prevención usando las estrategias de programación divide y vencerás y fuerza bruta; para disminuir el consumo irresponsable de energía eléctrica y emisiones GEI en los departamentos del Perú que, genere resultados en beneficio del país. Para ello, se diseñó dos algoritmos, elaborados en el servidor de Jupyter Notebook para el lenguaje de programación Python. Además, analizando las complejidades de cada algoritmo se observó que el primero, a mayor cantidad de información (valores de energía) usará pocos recursos, pero solo muestra el máximo valor pico, por otro lado, el segundo, muestra todos los valores pico con un costo computacional mayor. Finalmente, los resultados son: mayores valores pico para Ancash, Arequipa, Callao, Huancavelica, Junín, Lima, Piura, Tacna y Ucayali, se recomienda tomar acciones inmediatas frente a este grave problema ambiental, implica un llamado urgente a los ciudadanos y autoridades.

Palabras claves: Energía Eléctrica, Contaminación ambiental, Emisiones GEI, Divide y vencerás, Fuerza Bruta.

# Índice de figuras

2.1 Emisiones GEI totales en América Latina y el Caribe .....	5
2.2 Consumo final de energía y estructura de participación de energía .....	7
2.3 Matriz Energética del Perú .....	7
2.4 Red Secundaria .....	8
2.5 Pseudocódigo Fuerza Bruta – Valores Pico .....	10
2.6 Pseudocódigo Divide y Vencerás – Valor Pico .....	10
2.7 Análisis de la complejidad del Algoritmo Fuerza Bruta – Valores Pico.....	11
2.8: Análisis de la complejidad del Algoritmo Divide y Vencerás – Valor Pico .....	11
3.1 Función encuentraPico, encuentra los valores picos más altos de consumo de energía de todos los departamentos del país a través del algoritmo Fuerza Bruta ...	13
3.2 Función encuentraPico_B, encuentra el valor pico más altos de consumo de energía de todos los departamentos del país a través del algoritmo Divide y Vencerás .....	13
3.3 Complejidad Lineal .....	14
3.4 Complejidad Logarítmica .....	14
3.5 Complejidad Logarítmica VS Complejidad Lineal .....	15
3.6 Todos los valores picos.....	16
3.7 Un valor pico .....	17
3.8 Diagramas de barras generados para los consumos de energía eléctrica y para emisiones GEI.....	17
3.9 Tabla y Gráfico de Barras del Consumo Eléctrico Mensual del Hospital Regional Lambayeque (2018-2019) .....	18

# Índice de tablas

3.1 Producción de energía eléctrica por región 2021 vs 2020 (GWh) .....	12
---	----

# Índice general

<b>Resumen .....</b>	<b>II</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>III</b>
<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>III</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Realidad problemática.....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Objetivos de la monografía .....	3
1.3.1 Objetivo general .....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Método del trabajo .....	4
<b>2. Energía Eléctrica, Cambio Climático, Estrategia de Programación Divide y Vencerás y Fuerza Bruta .....</b>	<b>5</b>
2.1 Fundamentación teórica de Energía Eléctrica y Cambio Climático.....	5
2.2 Fundamentación teórica de las Estrategias de Programación Divide y Vencerás y Fuerza Bruta .....	9
2.2.1 Descripción de las Estrategias .....	9
2.2.2 Pseudocódigo de los algoritmos .....	10
2.2.3 Análisis de las complejidades de los algoritmos .....	11
<b>3. Resultados y discusión .....</b>	<b>12</b>
3.1 Implementación.....	12
3.2 Resultados .....	14
3.2.1 Resultados Teóricos .....	14
3.2.2 Resultados Prácticos.....	15
3.3 Discusión.....	18
<b>4. Consideraciones finales .....</b>	<b>19</b>
4.1 Conclusiones .....	19
4.2 Trabajos futuros.....	19
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>21</b>

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Realidad problemática

Los problemas ambientales por los que el mundo atraviesa actualmente son realmente críticos y constituyen un desafío enorme. El documento Cambio Climático 2014, Informe de Síntesis del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), así como el Informe de Desarrollo Humano 2016 (PNUD, 2017), consolidaron el convencimiento mundial de que las emisiones de GEI y sus consecuencias en el clima representan una externalidad negativa global. En otras palabras, la degradación ambiental actual hace inevitable entender que nuestro desarrollo no puede estar desligado del ambiente que lo sustenta.

El Ministerio de Energía y Minas Peruano (MEM) informó que el impacto del uso de energía en los sectores doméstico, público, industrial, comercial y residencial, a nivel mundial, es responsable de más del 70% de la contaminación ambiental, por lo que es necesario una aplicación de políticas de eficiencia energética, fundamentales en la tarea de mitigar el daño ambiental.

“Actualmente, en la eficiencia energética está la base de preocupación sobre el cambio climático, más aún, si se considera que el Perú es uno de los diez países más vulnerables a nivel mundial”, indicó el asesor de la Dirección General de Eficiencia Energética (DGEE) del MEM, Carlos Orbegoza.

Asimismo, según el Tyndall Centre de Inglaterra, una organización del Reino Unido que reúne a científicos, economistas, ingenieros y científicos sociales, nuestro país es el tercero más vulnerable a los efectos del cambio climático, luego de Honduras y Bangladesh.

Además, el PCB es una de las sustancias más tóxicas y parte de las emisiones GEI que se puede encontrar en el ambiente, debido a que se acumula en ecosistemas terrestres y acuáticos, y es resistente a la degradación. Actualmente, se encuentra en la lista de los veinte contaminantes más tóxicos del mundo y es considerado por la Organización

Mundial de la Salud (OMS) entre los agentes “cancerígenos para los humanos”, esto se da porque para realizar la distribución de energía entregada también denominada red primaria, que permite el traslado de esta energía a los usuarios finales en baja tensión (220, 380 y 440 V), en su etapa de operación, se hace uso para el almacenamiento y disposición de equipos y residuos el contenido de policlorobifenilos o bifenilos policlorados (PCB, por sus siglas en inglés).

Por los antecedentes expuestos de consumo de energía eléctrica y emisiones de GEI en nuestro País y el mundo, nos planteamos la siguiente problemática ¿Será posible generar un sistema de control y prevención para disminuir el consumo irresponsable de energía eléctrica y emisiones GEI de los departamentos del Perú basados en los valores picos en Wh, usando las Estrategias de Programación Divide y Vencerás y Fuerza Bruta?

## **1.2. Justificación**

La preocupación generada ante la realidad problemática investigada, nos proporciona la importancia en señalar que se necesita un control y prevención adecuado para mitigar la contaminación del medio ambiente. Por lo que surge el propósito de resolver la problemática de la presente monografía, el cual es disminuir el consumo irresponsable de energía eléctrica y disminuir las emisiones de GEI, ya que las sociedades actuales demandan y utilizan grandes cantidades de energía destinadas a hacer funcionar las máquinas, transportar mercancías y personas, producir luz, calor o refrigeración. Todo el sistema de vida moderno está basado en la disposición de abundante energía, y su consumo en constante expansión está perjudicando al ambiente con emisiones que contaminan la Tierra y destruyen los ecosistemas. Asimismo, la finalidad de esta investigación señala la importancia que los líderes mundiales deben implementar un ambicioso programa a largo plazo que aborde, entre otras cosas, la lucha contra el cambio climático para mejorar la vida de las personas y proteger el planeta para las generaciones futuras.

Lo que se espera con la implementación de un programa gracias a las Estrategias Divide y Vencerás y Fuerza Bruta, es un control y prevención, de ese modo disminuir el consumo irresponsable de energía eléctrica y emisiones GEI conociendo los valores picos de los departamentos que se generan del consumo de energía eléctrica, consecuente a ello, se emiten GEI al medio ambiente, contribuyendo a la toma de acciones inmediatas por

parte de los ciudadanos y autoridades, así generar un sistema aplicado al control, manejo eficiente y responsable de la energía eléctrica en el Perú y el mundo en favor de la reducción de la contaminación ambiental.

### **1.3. Objetivos de la monografía**

Para establecer lo que pretende la investigación y así contribuir con la solución del problema formulado, se tienen los siguientes objetivos:

#### **1.3.1. Objetivo general**

Desarrollar un sistema estándar de control y prevención usando las estrategias de programación divide y vencerás y fuerza bruta; para disminuir el consumo irresponsable de energía eléctrica y emisiones GEI en los departamentos del Perú, a través de una plataforma de gestión de información que, proporcione a autoridades, compañías eléctricas y ciudadanos, información de calidad, confiable y oportuna sobre la situación de los valores picos de la energía eléctrica en (GWh) y emisiones de GEI (GgCO<sub>2</sub>eq) que se produce en nuestro país.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Emplear la estrategia de programación, fuerza bruta para la creación de la función que halle los puntos picos (más de un punto) de energía eléctrica producidos y emisiones de GEI, de los 25 departamentos del Perú, incluido Callao, ya que esta estrategia encuentra la solución evaluando todas las posiciones del arreglo, es decir los valores energía eléctrica.
- b) Emplear también la estrategia de programación, divide y vencerás para la creación de otra función que permita obtener el máximo valor pico (solo uno) de la energía eléctrica producido y emisiones de GEI, de los 25 departamentos del Perú, incluido Callao, ya que esta estrategia separa el problema en subproblemas que se parecen al problema original y además de manera recursiva resuelve los subproblemas y combina las soluciones de los subproblemas para resolver el problema original.



- c) Obtener y analizar la complejidad de los algoritmos Divide y Vencerás y Fuerza Bruta, aplicando los conocimientos adquiridos durante el curso, enfatizando en los beneficios computacionales que genera cada uno a la solución del problema, como las dificultades o desventajas.
- d) Controlar y disminuir el consumo irresponsable de energía eléctrica, consecuentemente reducir las emisiones GEI en los departamentos del Perú, a través de la información que recibirán las autoridades, empresas y ciudadanos sobre los valores picos de energía eléctrica consumida y valores de GEI, invocando a un cambio en el accionar a favor del medio ambiente y la salud.

## **1.4. Método del trabajo**

Para poder disminuir el consumo irresponsable de energía eléctrica y las emisiones GEI, como primer paso se reconoció e indagó sobre la realidad problemática y los enfoques de las diversas soluciones. Planteándonos, las estrategias de Divide y Vencerás y Fuerza Bruta. Seguidamente, se registraron los valores de consumo de energía eléctrica de los 25 departamentos, incluido Callao, del mes de diciembre del 2021, según el Ministerio de Energía y Minas, en otras palabras, la cantidad de energía eléctrica en Wh. Seguidamente, se elaboró e implementó una base de datos que permitió identificar los departamentos con sus respectivos valores de consumo, también el análisis de la data generada, como el cálculo aproximado de las emisiones GEI y así tener resultados que permitan tomar decisiones inmediatas que conlleve a una planificación de acciones concretas que permitan hacer frente al escenario de crisis. Finalmente, esta base de datos también ayudó a establecer los departamentos en específico que tienen valores altos de consumo de energía eléctrica, con la intención de implementar controles y acciones por parte de las autoridades en dichas zonas y de esta manera, evitar el aumento de emisiones GEI.

## Capítulo 2

# Energía Eléctrica, Cambio Climático, Estrategia de Programación Divide y Vencerás y Fuerza Bruta

### 2.1. Fundamentación teórica de Energía Eléctrica y Cambio Climático

El cambio climático es consecuencia de una externalidad negativa global originada por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, sin un costo económico explícito en la gran mayoría de los países. De acuerdo con información del World Resources Institute (WRI) (WRI 2015) los países de la región de América Latina y el Caribe contribuyeron en 2010 con 3.257 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>e), representando el 8% de las emisiones totales de GEI globales.

Dentro de la región, Argentina, Brasil, México y Venezuela generan el 75% de las emisiones de GEI, concentran el 66% de la población y el 75% del producto con intensidades desde 402,95 en Brasil hasta 593,41 tCO<sub>2</sub>e por millón de dólares (USD) en Venezuela debido al alta participación de las plantas hidroeléctricas y los biocombustibles en la generación de energía en el primero y la alta dependencia de los productos del petróleo en el segundo.

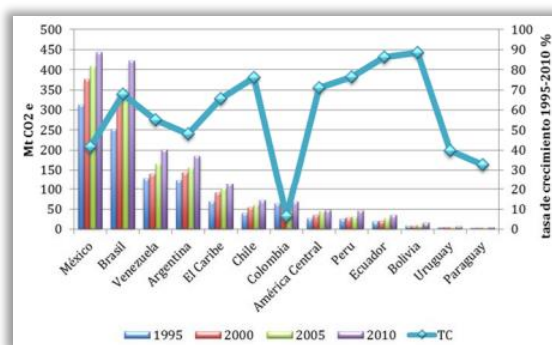


Figura 2.1: Emisiones GEI totales en América Latina y el Caribe.  
Fuente: WRI (2015)

En la Figura 2.1 se muestra las emisiones de CO<sub>2</sub>e por país de la región entre 1995 y 2010, donde se puede apreciar el papel preponderante de los cuatro países grandes y las altas tasas de crecimiento de las emisiones en el periodo 1995-2010 que están por arriba del 30% para todos los países, excepto Colombia. Dentro de la región se resalta el crecimiento de las emisiones en los países o regiones con menores contribuciones totales como América Central, el Caribe, Bolivia, Chile, Ecuador y Perú, todos ellos con tasas de crecimiento por arriba del 60%.

### 2.1.1. Desarrollo Sostenible

En el informe elaborado en 1987 por la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de las Naciones Unidas, presidida por la ex Primera Ministra noruega Gro H. Brundtland, se definió como Desarrollo Sostenible: *“aquel que satisface nuestras necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones a satisfacer las suyas”*. Este concepto se basa en que el uso intensivo e ineficiente de la energía es un acto egoísta, porque se está gastando lo que les pertenece a las generaciones futuras y, por otro lado, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se generan, están dañando el ambiente y amenazando la vida en el planeta con consecuencias que afectan a toda la humanidad. El desarrollo sostenible está relacionado con la **solidaridad intergeneracional** y, por extensión, con la solidaridad con los países menos desarrollados, ya que este modelo de desarrollo no admite que en un mundo globalizado haya diferencias de calidad de vida por desequilibrios en la utilización de los recursos.

### 2.1.2. Energía en el Perú

La evolución del uso de la energía en el Perú es la misma que la ocurrida en otras civilizaciones. Las culturas prehispánicas usaban intensivamente la biomasa y en particular la leña. Luego de la conquista vinieron el carbón, el gas y el kerosene, y finalmente la electricidad generada en las hidroeléctricas, en las centrales térmicas, solares y eólicas. También se utilizan el gas natural y los derivados del petróleo como fuente de energía para el transporte y para la cocción.

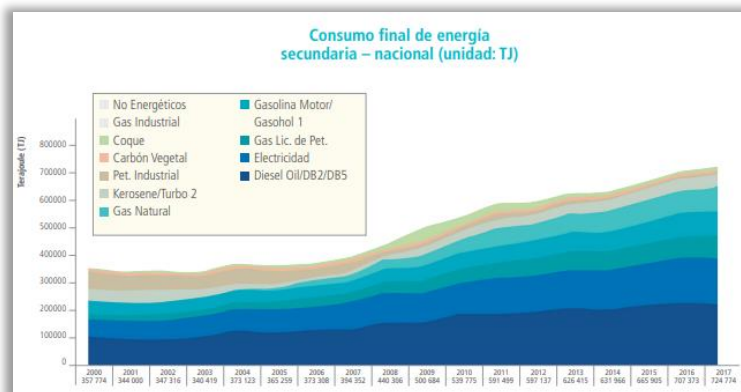


Figura 2.2: Consumo final de energía y estructura de participación de energía  
Fuente: Balance Nacional de Energía - 2017. MINEM

En la Figura 2.2 se ve la evolución del consumo final de energía en el Perú desde el año 2000 a 2017. En el 2000 se consumía 357 774 TJ (terajoules), y en 2017 se incrementó a 724 043 TJ; es decir, el consumo de energía aumentó en un 102% en 17 años. Se nota un incremento de la participación porcentual del gas natural, que ingresó fuertemente al mercado desde el año 2004 (gas de Camisea), desplazando paulatinamente al petróleo como combustible cuya participación ha descendido desde entonces.

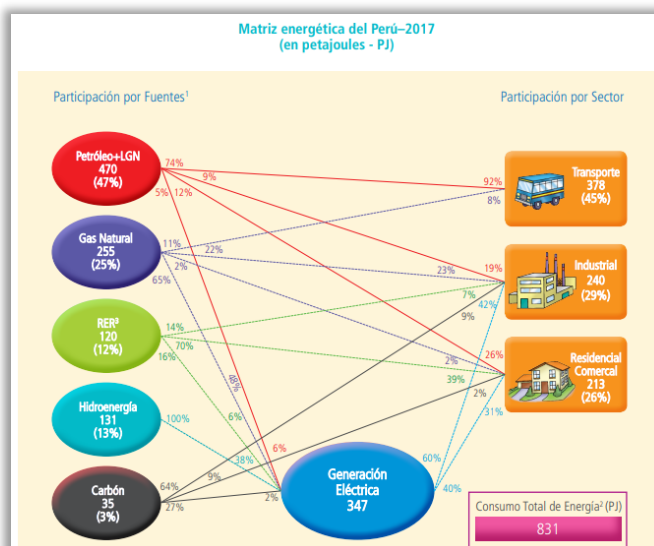


Figura 2.3: Matriz Energética del Perú  
Fuente: Balance Nacional de Energía - 2017. MINEM

Por otro lado, es importante conocer no solo las fuentes de las que proviene la energía que utilizamos en nuestro país, sino también los sectores que la consumen, lo podemos visualizar en la Figura 2.3, Matriz energética del Perú-2017, en la que se relacionan ambos aspectos. Se observa que el petróleo y los líquidos de gas natural son la principal fuente de energía que consume el país, y

el gas natural que ocupa el segundo lugar está proveyendo casi la cuarta parte de la energía que consumimos. Sin embargo, se destina el 65% a la generación de electricidad, 11% al transporte, 23% al sector industrial y apenas 2% al sector residencial y comercial. En el lado derecho se ve que el sector transporte es el primer consumidor de energía del país, aunque solo el 8% proviene del gas natural (consumido por casi 250 000 vehículos que se han convertido de gasolina a gas natural al 2019), pero aún un 92% proviene del petróleo. También se nota que el 39% de la energía que se consume en el sector residencial y comercial proviene de recursos de energía renovable como la biomasa (leña, bosta & yareta y el bagazo), la energía eólica y la energía solar.

### 2.1.3. Distribución de Energía Eléctrica en el Perú

La energía entregada por el sistema de transmisión a las subestaciones de potencia es transformada a un nivel de media tensión (10, 13.2 y 22.9 kV) también denominado red primaria, que permite el traslado de esta energía a los usuarios finales en baja tensión (220, 380 y 440 V), a través de las redes secundarias. Para ello, se utiliza un conjunto de líneas eléctricas con tensiones nominales iguales o menores a 35 kV, subestaciones y equipos asociados. El impacto ambiental en este tipo de actividad de distribución de energía eléctrica se focaliza en la etapa de operación. Los impactos están asociados al almacenamiento y disposición de residuos (peligrosos y no peligrosos), así como a la identificación, almacenamiento y disposición de equipos y residuos con contenido de policlorobifenilos o bifenilos policlorados (PCB, por sus siglas en inglés). Si bien los PCB son sustancias altamente tóxicas (1), el riesgo de impacto se disminuye si estos se encuentran identificados y confinados adecuadamente en los equipos eléctricos empleados por las empresas (como transformadores o capacitores) y en los almacenes de residuos peligrosos.

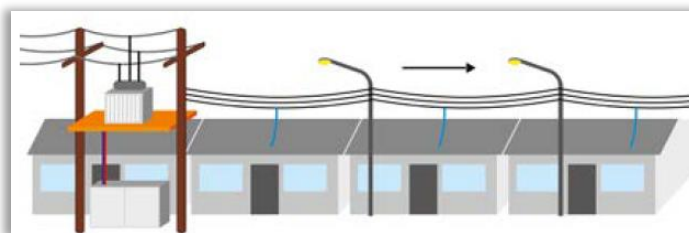


Figura 2.4: Red Secundaria.

Fuente: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) - 2015

<sup>1</sup> El PCB es una de las sustancias más tóxicas que se puede encontrar en el ambiente, debido a que se acumula en ecosistemas terrestres y acuáticos, y es resistente a la degradación. Actualmente, se encuentra en la lista de los veinte contaminantes más tóxicos del mundo y es considerado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) entre los agentes "cancerígenos para los humanos".

## 2.2. Fundamentación teórica de las Estrategias de Programación Divide y Vencerás y Fuerza Bruta

### 2.2.1. Descripciones de las Estrategias de programación

#### 2.2.1.1. Fuerza Bruta

Para hallar *más de un valor pico* de un arreglo unidimensional con la estrategia Fuerza Bruta, se considera un arreglo en desorden donde se evalúa cada una de sus posiciones y a los elementos cuyos vecinos son menores que ese elemento para que sean añadidos a un arreglo auxiliar(resultante) y posteriormente este sea retornado. El algoritmo consiste, obsérvese el Pseudocódigo **Figura 2.5**, si en el arreglo el primer elemento es mayor que el segundo o el último elemento es mayor que el penúltimo, añada dichos elementos al arreglo auxiliar(resultante). De lo contrario, atraviase el arreglo desde el segundo índice hasta el penúltimo índice. Donde, si para un elemento, es mayor que sus dos vecinos, también añada dichos elementos al arreglo resultante y termine el algoritmo.

#### 2.2.1.2. Dividir para Vencer

La explicación del algoritmo para hallar un *solo valor pico* dentro de un arreglo ordenado con la estrategia "divide y vencerás", que se basa en la técnica de búsqueda binaria para verificar si el elemento medio es el elemento pico o no. Aquí, se considera, obsérvese el Pseudocódigo **Figura 2.6**, si el elemento medio no es el elemento pico, comprueba si el elemento del *lado derecho* es mayor que el elemento medio, entonces siempre hay un elemento pico en el lado derecho. Por lo contrario, si el elemento del *lado izquierdo* es mayor que el elemento del medio, siempre hay un elemento de pico en el lado izquierdo. De ese modo se forma una recursión para que el elemento pico se pueda encontrar. En esta estrategia la recursión juega un papel fundamental.

### 2.2.2. Pseudocódigos de los algoritmos

```
1 | picos <- []
2 | Función encuentraPico (Parámetros: arr, n)
3 | | Si (n == 1)
4 | | | Retornar -> picos -> Adjuntar (n - 1) //picos.append (n - 1)
5 | | Fin Si
6 | | Si (arr[0] >= arr[1])
7 | | | picos -> Adjuntar (0) //picos.append (0)
8 | | Fin Si
9 | | Para i = 0 Hasta n - 1 Entonces //O(n) Búsqueda lineal
10| | | Si (arr[i] >= arr[i - 1] and arr[i] >= arr[i + 1])
11| | | | picos -> Adjuntar (i) //picos.append (i)
12| | | Fin Si
13| | Fin Para
14| | Si (arr[n - 1] >= arr[n - 2])
15| | | picos -> Adjuntar (n - 1) //picos.append (n - 1)
16| | Fin Si
17| | Retornar -> picos
18| Fin Función encuentraPico
```

Figura 2.5: Pseudocódigo Fuerza Bruta – Valores Pico  
Fuente: Elaboración Propia

```
1 | Función encuentra_PicoB (Parámetros: arr, bajo, alto, n)
2 | | med <- bajo + (alto - bajo) / 2
3 | | med <- Entero (med)
4 | | Si ( ((med == 0) or (arr[med - 1] <= arr[med])) and ((med == n - 1) or (arr[med + 1] <= arr[med])) )
5 | | | Retornar -> med
6 | | Fin Si
7 | | Sino Si ( (med > 0) and (arr[med - 1] > arr[med]) )
8 | | | Retornar -> encuentra_PicoB (Parámetros: arr, bajo, (med - 1), n)
9 | | Fin Sino Si
10| | Sino
11| | | Retornar -> encuentra_PicoB (Parámetros: arr, (med + 1), alto, n)
12| | Fin Sino
13| Fin Función encuentra_PicoB

14| Función encuentra_PicoA (Parámetros: arr, n)
15| | Retornar -> encuentra_PicoB (Parámetros: arr, 0, n - 1, n)
16| Fin Función encuentra_PicoA
```

Figura 2.6: Pseudocódigo Divide y Vencerás – Valor Pico  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.3. Análisis de las complejidades de los algoritmos

```

1 | picos <- []
2 | Función encuentraPico (Parámetros: arr, n) //O (1)
3 | | Si (n == 1) //O (1)
4 | | | Retornar -> picos -> Adjuntar (n - 1) //O (1)
5 | | Fin Si
6 | | Si (arr[0] >= arr[1]) //O (1)
7 | | | picos -> Adjuntar (0) //O (1)
8 | | Fin Si
9 | | Para i = 0 Hasta n - 1 Entonces //O (n) Búsqueda lineal
10| | | Si (arr[i] >= arr[i - 1] and arr[i] >= arr[i + 1]) //O (1)
11| | | | picos -> Adjuntar (i) //O (1)
12| | | Fin Si
13| | Fin Para
14| | Si (arr[n - 1] >= arr[n - 2]) //O (1)
15| | | picos -> Adjuntar (n - 1) //O (1)
16| | Fin Si
17| | Retornar -> picos //O (1)
18| Fin Función encuentraPico

```

Tenemos que **n** es el número de elementos que utilizará la función. En la función **encuentraPico** tenemos una búsqueda lineal factorial, por lo que se recorrerían **n - 1** números, Tendríamos una función de recurrencia de **T(n - 1) + O(1)**, cuya complejidad es **O(n)**

Figura 2.7: Análisis de la complejidad del Algoritmo Fuerza Bruta – Valores Pico

Fuente: Elaboración Propia

```

1 | Función encuentra_PicoB (Parámetros: arr, bajo, alto, n) //O (1)
2 | | med <- bajo + (alto - bajo) / 2 //O (1)
3 | | med <- Entero (med) //O (1) //Función Si: O (1)
4 | | Si ( (med == 0) or (arr[med - 1] <= arr[med])) and ((med == n - 1) or (arr[med + 1] <= arr[med])) )
5 | | | Retornar -> med //O (1)
6 | | Fin Si
7 | | Sino Si ( (med > 0) and (arr[med - 1] > arr[med]) ) //O (1)
8 | | | Retornar -> encuentra_PicoB (Parámetros: arr, bajo, (med - 1), n) // O (Log n) Búsqueda Binaria
9 | | Fin Sino Si
10| | Sino //O (1)
11| | | Retornar -> encuentra_PicoB (Parámetros: arr, (med + 1), alto, n) //O (Log n) Búsqueda Binaria
12| | Fin Sino
13| Fin Función encuentra_PicoB //O (Log n) Búsqueda Binaria

14| Función encuentra_PicoA (Parámetros: arr, n) //O (1)
15| | Retornar -> encuentra_PicoB (Parámetros: arr, 0, n - 1, n) //O (1)
16| Fin Función encuentra_PicoA //O (1)

```

Tenemos que **n** es el número de elementos que utilizará la función. En la función **encuentraPicoB**, una función recursiva, cada paso de búsqueda que se hace, no se utilizan completamente los **n** números, por lo que esta función se puede comparar a la búsqueda binaria, por lo que tendríamos una función de recurrencia de **T(n) = O(1) + T(n/2)** cuya solución es: **O(log n)**

Figura 2.8: Análisis de la complejidad del Algoritmo Divide y Vencerás – Valor Pico

Fuente: Elaboración Propia



# Capítulo 3

## Resultados y discusión

### 3.1. Implementación

Para la elaboración del sistema de control y prevención de energía eléctrica y emisiones GEI se consideró la **Tabla 3.1** de la cual se tomaron los datos correspondientes a la columna **diciembre 2021** que posteriormente se usaron para hallar los valores pico en cada algoritmo y hallar los GEI de cada departamento del país, estos resultados fueron encontrados a través del programa elaborado en el servidor de Jupyter Notebook/Google Colab para el lenguaje de programación Phyton.

**Tabla 3.1**

*Producción de energía eléctrica por región 2021 vs 2020 (GWh)*

Región	Diciembre		$\Delta$	Enero - Diciembre		$\Delta$
	2020	2021		2020	2021	
AMAZONAS	3	5	47%	37,1	50,1	35%
ANCASH	282	254	-10%	2 189	2 355	8%
APURIMAC	2,8	3,1	9%	44	44	1%
AREQUIPA	101	101	0%	1 252	1 218	-3%
AYACUCHO	1,0	0,9	-11%	11,5	10,4	-9%
CAJAMARCA	127	145	15%	1 036	1 447	40%
CALLAO	259	272	5%	2 711	3 161	17%
CUSCO	199	199	0%	1 952	2 053	5,2%
HUANCAVELICA	799	909	14%	10 059	10 203	1%
HUANUCO	231	299	29%	2 170	2 432	12%
ICA	132	104	-21%	1 660	1 672	1%
JUNIN	236	334	41%	2 751	3 126	14%
LA LIBERTAD	76	102	35%	793	737	-7%
LAMBAYEQUE	4,8	5,1	5%	59	62	4%
LIMA	2 006	1 822	-9%	21 166	23 848	13%
LORETO	35,0	34,9	0%	503	410	-19%
MADRE DE DIOS	0,300	0,153	-49%	6	2	-69%
MOQUEGUA	65	72	9%	710	752	6%
PASCO	71	88	25%	863	883	2%
PIURA	128	119	-7%	1 392	1 463	5%
PUNO	114	93	-19%	1 058	984	-7%
SAN MARTÍN	3,2	3,1	-3%	45	45	0%
TACNA	13	14	6,9%	158	158	0%
TUMBES	1	1	0%	13	13	0%
UCAYALI	4	4	-13%	95	239	151%
<b>Total Nacional</b>	<b>4 893</b>	<b>4 984</b>	<b>1,9%</b>	<b>52 734</b>	<b>57 371</b>	<b>8,8%</b>

**Fuente:** Enero 2022/MINEM-DGE

Las principales funciones y operaciones usadas para la implementación del sistema de control y prevención fueron para encontrar el valor pico y los valores pico de los departamentos y su consumo de energía eléctrica en los algoritmos de Divide y Vencerás y Fuerza Bruta respectivamente, por lo que se tomaron en cuenta los datos de la **Tabla 3.1**.

```
#-----
#Fuerza Bruta - Valores Pico
#Función que evalúa cada elemento y añade los valores picos en un arreglo final
picos = []

def encuentraPico(arr, n) :
    # Si solo hay elemento
    if (n == 1) :
        return picos.append(n-1)

    #Si el primer elemento es mayor que el segundo
    if (arr[0] >= arr[1]) :
        picos.append(0)

    #Comprobar todos los demás elementos
    for i in range(0, n-1) :
        # Comprobar si los vecinos son más pequeños
        if (arr[i] >= arr[i - 1] and arr[i] >= arr[i + 1]):
            picos.append(i)

    #Si el último elemento es mayor que el penúltimo
    if (arr[n - 1] >= arr[n - 2]) :
        picos.append(n-1)

    return picos
#-----
```

Figura 3.1: Función encuentraPico, encuentra los valores picos más altos de consumo de energía de todos los departamentos del país a través del algoritmo Fuerza Bruta.

Fuente: Elaboración propia extraída de Jupyter Notebook para el Lenguaje Python.

```
#-----
# Divide y Vencerás - Valor Pico
# Función basada en búsqueda binaria que devuelve el índice de un elemento pico

def encuentra_PicoB(arr, bajo, alto, n):

    # Encuentra el índice del elemento medio
    med = bajo + (alto - bajo)/2
    med = int(med)

    # Compara el elemento del medio con su vecinos (si existen vecinos)
    if ((med == 0 or arr[med - 1] <= arr[med]) and
        (med == n - 1 or arr[med + 1] <= arr[med])):
        return med

    # Si el elemento medio no es pico y su vecino izquierdo es mayor
    # que eso, luego la mitad izquierda debe tener un elemento pico
    elif (med > 0 and arr[med - 1] > arr[med]):
        return encuentra_PicoB(arr, bajo, (med - 1), n)

    # Si el elemento medio no es pico y su vecino derecho es mayor
    # que eso, entonces la mitad derecha debe tener un elemento pico
    else:
        return encuentra_PicoB(arr, (med + 1), alto, n)

def encuentraPicoA(arr, n):
    return encuentra_PicoB(arr, 0, n - 1, n)
#-----
```

Figura 3.2: Función encuentraPico\_B, encuentra el valor pico más altos de consumo de energía de todos los departamentos del país a través del algoritmo Divide y Vencerás.

Fuente: Elaboración propia extraída de Jupyter Notebook para el Lenguaje Python.

## 3.2. Resultados

Al culminar con la investigación se llegaron a resultados interesantes del punto de vista tanto teórico como práctico en el uso de las estrategias Divide y Vencerás y Fuerza Bruta.

### 3.2.1. Resultados Teóricos

Las complejidades algorítmicas halladas en la **Figura 2.7** para el algoritmo de Fuerza Bruta fue  **$O(n)$** , la cual corresponde a una Complejidad Lineal (Ver Figura 3.3) lo que significa que a medida que aumentan los datos el número de operaciones aumenta de forma proporcional.

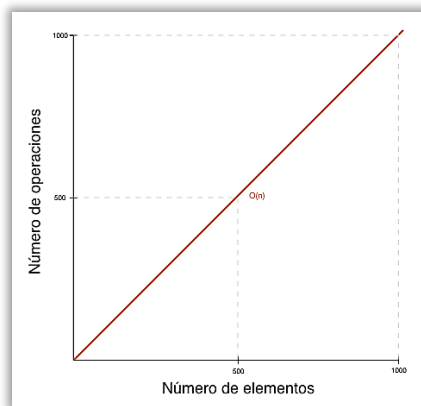


Figura 3.3: Complejidad Lineal.

Fuente: GitBook.

Y en la **Figura 2.8** para el algoritmo Divide y Vencerás fue  **$O(\log n)$**  la cual corresponde a una Complejidad Logarítmica (Ver Figura 3.4) lo que significa que a medida que aumenta la cantidad de datos, el número de operaciones aumenta, pero no de forma proporcional a los datos.

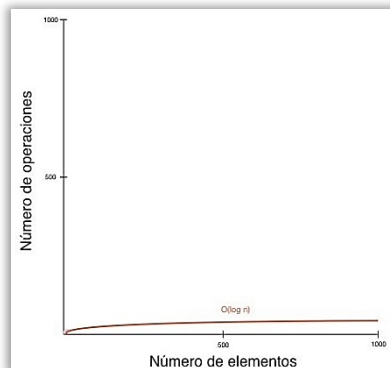


Figura 3.4: Complejidad Logarítmica.

Fuente: GitBook.

Entonces, la complejidad de un algoritmo nos permite entender cómo se va a comportar el algoritmo cuando incrementemos la cantidad de datos de entrada, en esta investigación la cantidad de datos irá en aumento si usamos otra base de datos, por lo que es recomendable elegir un buen algoritmo, en este caso sería el de Divide y Vencerás, donde se usará pocos recursos, como el tiempo que lleve a ejecutarse y la cantidad de espacio de memoria que requerirá. Aunque, para los resultados de todos los valores pico (más de un valor pico) que hallamos, el algoritmo que permite encontrarlos es el de Fuerza Bruta, mientras el de Divide y Vencerás solo arroja un valor pico.

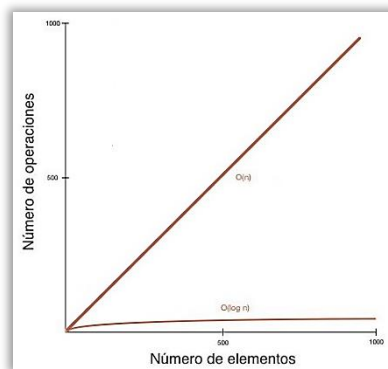


Figura 3.5: Complejidad Logarítmica VS Complejidad Lineal.  
Fuente: GitBook.

### 3.2.2. Resultados Prácticos

Para la obtención de los valores de las emisiones GEI ( $GgCO_2eq$ ) en esta monografía, se realizó basado en los datos del Reporte Semestral de Monitoreo del Mercado Eléctrico del 2016 del Osinergmin (Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minería), que indicó que la **producción total de energía eléctrica** a nivel nacional totalizó **51,768 GWh** en dicho año. Además, de lo mostrado por el Inventario Nacional De Gases De Efecto Invernadero (2016) del Ministerio del Ambiente Peruano, que menciona que el segundo sector con mayores **emisiones de GEI** reportada es Energía, con **58,132.54  $GgCO_2eq$** .

Por lo que, en base a ello, mediante una regla de tres simple, se calculó para el periodo de **diciembre del 2021** los valores de emisiones de GEI.

	Energía Eléctrica (GWh)		Emisiones GEI (GgCO2eq)
2016	51,768		58,132.54
Diciembre 2021	X		Y

Y como tenemos los valores de la cantidad de energía eléctrica consumida en el mes de diciembre del 2021(X), para cada departamento del país, por los Indicadores Del Sector Eléctrico A Nivel Nacional (2021) del Ministerio de Energía y Minas Peruano, entonces la fórmula para hallar las emisiones GEI en dicho mes es:

$$Y = \frac{X \text{ GWh} \cdot (58,132.54 \text{ GgCO2eq})}{51,768 \text{ GWh}}$$

Finalmente, obteniéndose un valor en la unidad **GgCO2eq**, que representa a las emisiones de GEI.

Los resultados prácticos para el algoritmo de Fuerza Bruta que arroja varios valores pico, los más altos consumos de Energía Eléctrica y emisiones GEI son los siguientes:

Resultados Valores Pico: Diciembre 2021			
Cantidad Total de Departamentos: 25			
Total Nacional de Energía Eléctrica(GWh): 4984.253000000001			
Total Nacional de Emisiones GEI(GgCO2eq): 5597.03			
Valores Picos de Energía: 9			
Nº	Consumo (GWh)	Departamentos	GEI aprox.(GgCO2eq)
1	254	ANCASH	285.23
2	101	AREQUIPA	113.42
3	272	CALLAO	305.44
4	909	HUANCAVELICA	1020.76
5	334	JUNIN	375.06
6	1822	LIMA	2046.0
7	119	PIURA	133.63
8	14	TACNA	15.72
9	4	UCAYALI	4.49
Total:	3829		4299.75

Figura 3.6: Todos los valores picos.

Fuente: Elaboración propia extraída de Jupyter Notebook para el Lenguaje Phytón.

Los resultados prácticos para el algoritmo de Divide y Vencerás que arroja solo un valor pico, el más alto consumo de Energía Eléctrica y emisiones GEI, son los siguientes:

Resultados Máximo Valor Pico: Diciembre 2021			
Cantidad Total de Departamentos: 25			
Total Nacional de Energía Eléctrica(GWh): 4984.253			
Total Nacional de Emisiones GEI(GgCO2eq): 5597.03			
Valores Picos de Energía: 0			
Nº	Consumo (GWh)	Departamentos	GEI aprox.(GgCO2eq)
1	1822	LIMA	2046.0
Total:	1822		2046.0

Figura 3.7: Un valor pico.

Fuente: Elaboración propia extraída de Jupyter Notebook para el Lenguaje Phytton.

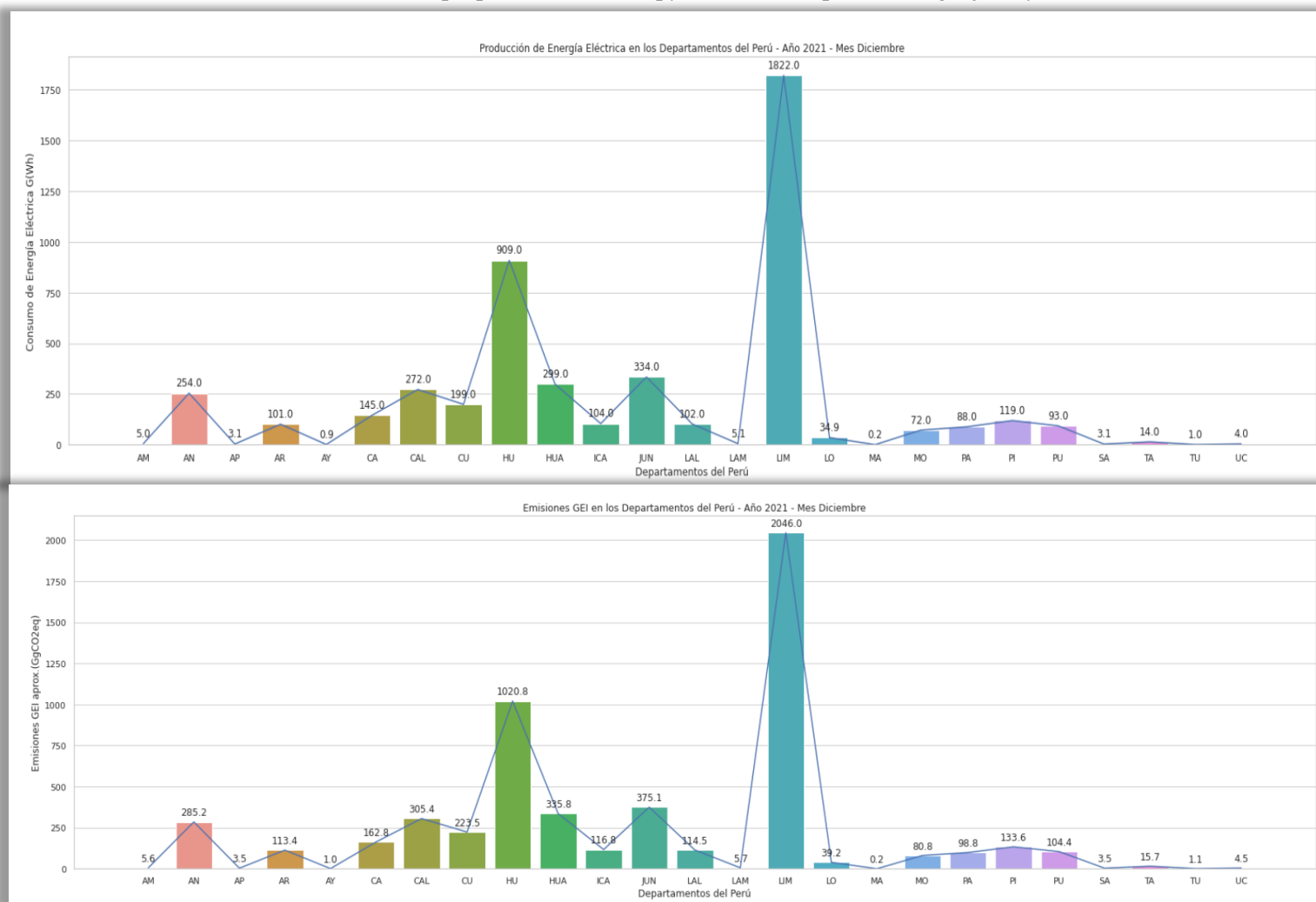


Figura 3.8: Diagramas de barras generados para los consumos de energía eléctrica y para emisiones GEI.

Fuente: Elaboración propia extraída de Jupyter Notebook para el Lenguaje Phytton.

## 4.4. Discusión

En el presente trabajo se obtuvieron los resultados tomando los datos de todos los consumos de energía eléctrica y emisiones GEI de los departamentos del Perú, datos proporcionados en la **Tabla 3.1** y generados por el programa implementado y haciendo uso de las estrategias Divide y Vencerás y Fuerza Bruta, se obtuvo que los departamentos con altos valores picos de consumo de energía eléctrica son: Ancash con un consumo de 254 GWh, Arequipa con 101 GWh, Callao con 272 GWh, Huancavelica con 909 GWh, Junin con 334 GWh, Lima con 1822 GWh, Piura con 119 GWh, Tacna con 14 GWh y Ucayali con 4 GWh, lo que significa que nuestro país es uno de los países de la región que emite al mes grandes cantidades de GEI y no cuenta aun con una conducta y política de estado responsable frente a la concientización y divulgación del buen uso de la energía eléctrica. Ante estos resultados, se recomienda tomar acciones inmediatas frente a este grave problema ambiental, lo que implica un llamado urgente a los ciudadanos y autoridades.

De forma similar Monteza Rojas (2020) de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, realizó un trabajo de Investigación sobre Implementar un plan de auditoría y eficiencia energética del Hospital Regional Lambayeque, en su investigación tuvo como principal objetivo realizar una propuesta de implementación de auditoria energética en el Hospital Regional Lambayeque, basado en la norma ISO 50001 para mejorar el índice de consumo energético enfatizando en la reducción de emisiones de gases contaminantes, obteniendo también los consumos eléctricos mensuales, promedio y total de dinero; dándole importancia al ahorro de energía eléctrica, ya que en la actualidad se presenta muy poco afán por el uso eficiente de la energía en el Perú.

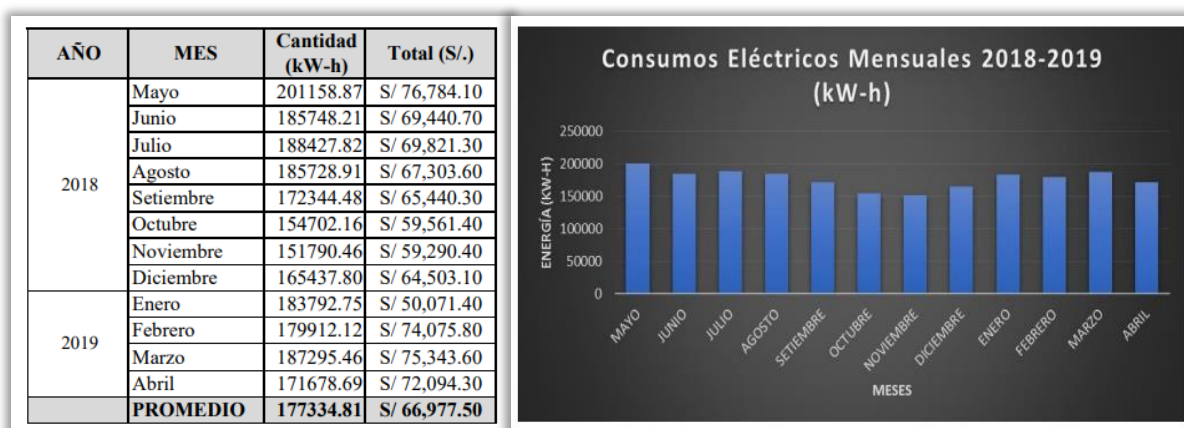


Figura 3.9: Tabla y Gráfico de Barras del Consumo Eléctrico Mensual del Hospital Regional Lambayeque (2018-2019)  
Fuente: Monteza Rojas (2020).

# Capítulo 4

## Consideraciones finales

### 4.1. Conclusiones

- Se logró desarrollar un sistema de control y prevención usando las estrategias de programación divide y vencerás y fuerza bruta, para disminuir el consumo irresponsable de energía eléctrica y emisiones GEI de los departamentos del Perú usando Estrategias de Programación Divide y Vencerás y Fuerza Bruta, en Jupyter Notebook Colab con el lenguaje de programación Python, a través de una plataforma de gestión de información que, proporciona a autoridades, compañías de energía y ciudadanos, información de calidad, confiable y oportuna sobre la situación del mes de diciembre del año 2021 del consumo de energía y las emisiones de GEI que se produjeron, para que sea útil en la toma de acción inmediata e implementaciones de políticas de estado en mejora del medio ambiente y salud de nuestro país y el mundo.
- Se analizó la complejidad de los dos algoritmos empleados, evaluándose que el de Divide y Vencerás, a una mayor cantidad de información (valores de energía de otros meses o años) usará pocos recursos, en el tiempo que lleve a ejecutarse y la cantidad de espacio de memoria que requerirá, sin embargo, solo muestra el máximo valor pico, es decir, solo 1 valor de energía que le corresponde a un departamento en específico. Por otro lado, el de Fuerza Bruta, muestra todos los valores pico (más de uno), pero con un costo computacional mayor en tiempo a ejecutarse y cantidad de espacio de memoria conforme incrementen los datos que le proporcionemos. Por lo que sabiendo ello, dependerá que necesitamos aplicar, para utilizar uno u otra estrategia.

### 4.2. Trabajos futuros y recomendaciones

A partir del presente trabajo se puede continuar con las siguientes investigaciones e implementaciones:

- Se propone ampliar la investigación, para conocer y/o hacer pronósticos sobre las emisiones GEI, en otros años con sus meses respectivos, para un análisis de



las estadísticas más profundas por parte de las autoridades y así contribuir a una mejor toma de acciones.

- Se propone que este sistema sea usado por autoridades, compañías energéticas y asociaciones especializadas en análisis de control y prevención de emisiones GEI que se producen debido al consumo de energía eléctrica, que afectan al medio ambiente y la salud, así se podrá tener perspectivas diferentes y futuros cambios al presente trabajo.

# Referencias bibliográficas

- Corporación Financiera de Desarrollo - COFIDE (2018) *Inventario de Gases de Efecto Invernadero*.
- GitBook (2019) *Complejidad (Big-O). Notación Big-O*.
- Mañas, J. A. (2017) *Análisis de Algoritmos – Complejidad*. Dept. de Ingeniería de Sistemas Telemáticos.
- MEM (2022). Ministerio de Energía y Minas Perú. *Principales Indicadores Del Sector Eléctrico A Nivel Nacional enero 2022 (Cifras Preliminares Al Mes De diciembre 2021)*. Producción de Energía Eléctrica Nacional. Recuperado de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2%20Cifras%20preliminares%20del%20Sector%20Electrico%20-%20Diciembre%202021a.pdf>
- MINAM (2016). Ministerio del Ambiente Perú. *Inventario Nacional De Gases De Efecto Invernadero 2016*. Emisiones de GEI. Recuperado de: <https://infocarbono.minam.gob.pe/annios-inventarios-nacionales-gei/ingei-2016/>
- Ministerio de Energía y Minas (2020) *Uso eficiente de la Energía Guía Metodológica para docentes de Secundaria*.
- Monteza Rojas, L. E. (2020). *Implementar un plan de auditoría y eficiencia energética del Hospital Regional Lambayeque, basado en la norma ISO 50001 para reducir los consumos energéticos*.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA (2015). *La supervisión ambiental en el subsector electricidad*.
- Osinerghmin (2016). Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. *Reporte Semestral De Monitoreo Del Mercado Eléctrico Segundo Semestre De 2016*. Producción Total De Energía Eléctrica A Nivel Nacional.
- Tamayo, Jesús; Salvador, Julio; Vásquez, Arturo y Carlo Vilches (Editores) (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Osinerghmin. Lima, Perú.