



# LAS TERMOELÉCTRICAS: SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y QUÍMICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

TUTOR:

ING. JACIPT ALEXANDER RAMÓN VALENCIA

PRESENTADO POR:

CARLOS ALEXIS RODRIGUEZ TREJO

PAMPLONA, DICIEMBRE 2022



SC-CER96940



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



LAS TERMOELÉCTRICAS: SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y QUÍMICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

DIPLOMADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIEROS CIVILES

PRESENTADO POR:

CARLOS ALEXIS RODRIGUEZ TREJO

PAMPLONA, DICIEMBRE 2022



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



## Las Termoeléctricas: Su Impacto en el Medio Ambiente

Los carburantes como el carbón, el petróleo y el gas natural constituyen los combustibles no renovables, estos son los encargados de generar gran parte de la potencia energética mundial brindando calor, electricidad, transporte y permitiendo la fabricación de un sin número de productos entre los que podemos encontrar el plástico y el acero.

Uno de los mayores problemas y el más criticado por los precursores del cambio climático es la implementación de los combustibles fósiles en la actualidad, esto se debe a que en la mayoría de las industrias en las que son utilizados estos combustibles, sufren de un proceso de quemado para obtener sus beneficios, la cuestión es que en este proceso se pueden liberar gases que resultan nocivos para el ecosistema que los rodea. El CO<sub>2</sub>, el NO<sub>2</sub>, el SO<sub>2</sub>, junto a otros gases que se expulsan en el proceso de quemado son los grandes causantes del efecto invernadero y el cambio climático, también hay que añadir que estos efectos son producto de la actividad humana, pero sobre todo por el crecimiento industrial y social.

Una de las industrias que en la actualidad hace más uso de los combustibles fósiles es la industria encargada de la generación de electricidad la cual en su mayoría es producida a través de las termoeléctricas. Las termoeléctricas son instalaciones en las que la energía mecánica necesaria para generar movimiento en el rotor de una turbina y que esta tenga la capacidad de generar energía, esto es logrado a partir del vapor que se genera al hervir el agua en una caldera y que esto produzca vapores. El vapor generado mediante el proceso de combustión posee una gran



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



presión la cual le permite llegar hasta las turbinas y de esta forma se tenga la capacidad de mover los álabes de las mismas. De esta manera los componentes principales de una termoeléctrica son la turbina y la caldera, siendo esta última la fundamental, ya que en esta se produce la combustión de los combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas).

De esta manera siendo las termoeléctricas fuentes de electricidad rentables en cuanto a costos de producción, se tiene en cuenta que con el simple hecho de hacer uso de estos combustibles lo cual contribuye de forma perjudicial al ambiente por lo cual genera impactos muy negativos en los ecosistemas aledaños a su ubicación.

Por lo anterior se ha considerado durante un largo tiempo la manera de generar e implementar soluciones a estas emisiones producto del funcionamiento de las termoeléctricas, de tal manera que siga siendo rentable y sustentable hacer uso de ellas. A pesar de los aspectos negativos que se contemplan producto de los combustibles empleados para su funcionamiento, es necesario tener en cuenta que la implementación de estos combustibles hace que la producción de energía sea de bajo costo por su fácil extracción aun cuando estos no son recursos renovables y su valor tiende a variar diariamente en el mercado. En referencia a su edificación brinda facilidades en cuanto a que se puede construir allí mismo brindando reducción de costos, además que parte fundamental es buscar técnicas y tecnologías que sean capaces de minimizar el impacto ambiental o la búsqueda de sustitutos de los combustibles en donde sus emisiones sean menos nocivas o incluso que no generen un impacto ambiental tan grande.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



Con lo siguiente se presente analizar los procesos, la normativa que involucra estos procesos, los impactos que se generan debido a la implementación de los combustibles fósiles como lo son el carbón, el petróleo, el gas natural, la madera, los gases de combustión, entre otros, y las posibles soluciones o alternativas a implementar en esta generación de energía que con el tiempo irá siendo sustituida por mejores alternativas y recursos renovables de fácil acceso.



SC-CER96940

*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



## Tabla de contenido

Las Termoeléctricas: Su Impacto en el Medio Ambiental	4
Las Termoeléctricas a Nivel Internacional.	13
Las Termoeléctricas a Nivel Nacional	19
Síntesis General De Los Procesos De Una Termoeléctrica.	21
Centrales eléctricas de tipo convencional	21
Centrales de Ciclo Combinado	30
Funcionamiento de una central de ciclo combinado	31
Contaminantes líquidos y gases producidos en la generación de energía	33
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	33
Sistema de oxy-combustión	34
Sistema de poscombustión	35
Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	38
Reducción catalítica selectiva	39
Reducción catalítica no selectiva	40
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	40



SC-CER96940



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



Desulfuración de gas	41
Depuradores Mojados no regenerables	42
Depuradores secos no regenerables	43
Depuradores secos regenerables	43
Tecnología de la desulfuración de gases de combustión mojada regenerables con oxido de magnesio.	44
Tecnología de la desulfuración de gases de combustión con carbonato de sodio.	45
Tecnología de la desulfuración de gases de combustión mojada regenerables con aminos.	45
Tecnología de la desulfuración de gases de combustión seca regenerables con carbón activado.	45
Materiales tóxicos.	45
Cenizas.	46
Eficiencia Energética en Colombia	47
El Plan Energético Nacional 2020-2050: Transformación energética para el desarrollo sostenible	47
Pilares del PEN 2020-2050	48



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
 www.unipamplona.edu.co



Objetivos del PEN 2020-2050	49
PAI-PROURE 2022-2030	51
Balance de Energía Útil para Colombia (BEU)	53
Proyecto de Eficiencia Energética en la Industria Colombiana 2016-2019	55
Programa de Evaluación Industrial PEVI 2018-2022.	55
Normativa Nacional E Internacional Que Rigen Las Termoeléctricas.	58
Avances y Nuevas Técnicas en los Procesos a Partir de las Termoeléctricas	65
¿Por Qué Seguir Haciendo Uso de las Termoeléctricas?	68
Conclusiones	70
Referencias Bibliográficas	72



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)

SC-CER96940



## Tabla de Imágenes

Imagen 1. Centrales eléctricas en el mundo. EOM (2021)	14
Imagen 2. Centrales eléctricas de carbón del mundo. CarbonBrief. CLEAR ON CLIMATE (2020)	15
Imagen 3. CTE Convencional de Carbón. Fuente. <a href="https://mat.camino.upm.es/wiki/Estudio_de_Viabilidad_y_Localizaci%C3%B3n_de_una_Central_T%C3%A9rmica">https://mat.camino.upm.es/wiki/Estudio_de_Viabilidad_y_Localizaci%C3%B3n_de_una_Central_T%C3%A9rmica</a>	23
Imagen 4. Caldera de la Central Térmica de Orcasitas. Fuente. <a href="https://ullastres.com/central-termica-de-orcasitas-funcionamiento-eficiente/">https://ullastres.com/central-termica-de-orcasitas-funcionamiento-eficiente/</a>	25
Imagen 5. Turbina de vapor, la revolución de la energía. Fuente. <a href="https://www.cientifiko.com/turbina-de-vapor/">https://www.cientifiko.com/turbina-de-vapor/</a>	26
Imagen 6. Turbina de gas. Fuente. <a href="https://gereportslatinoamerica.com/la-mayor-planta-termoelectrica-de-gas-natural-en-america-latina-cuenta-con-tecnologia-de-ge-y-se-ba2c4189e2d7">https://gereportslatinoamerica.com/la-mayor-planta-termoelectrica-de-gas-natural-en-america-latina-cuenta-con-tecnologia-de-ge-y-se-ba2c4189e2d7</a>	26
Imagen 7. Generador de energía. Fuente. <a href="https://es.made-in-china.com/co_jichaipower/product_Thermoelectric-Biogas-Power-Generator_uoyygrsgiy.html">https://es.made-in-china.com/co_jichaipower/product_Thermoelectric-Biogas-Power-Generator_uoyygrsgiy.html</a>	27
Imagen 8. Generador de turbina de vapor (1MW-1000MW). Fuente. <a href="https://es.made-in-china.com/co_runhbtg/product_Steam-Turbine-Generator-1MW-1000MW-_hehngnrhy.html">https://es.made-in-china.com/co_runhbtg/product_Steam-Turbine-Generator-1MW-1000MW-_hehngnrhy.html</a>	28



Imagen 9. Subestación Termoeléctrica Quevedo - Conalba. Fuente. <a href="https://www.conalba.com/subestacion-termoelectrica-quevedo/">https://www.conalba.com/subestacion-termoelectrica-quevedo/</a>	28
Imagen 10. Condensador de vapor. Fuente. <a href="https://www.directindustry.es/prod/shanghai-electric-group-co-ltd/product-206861-2309899.html">https://www.directindustry.es/prod/shanghai-electric-group-co-ltd/product-206861-2309899.html</a>	29
Imagen 11. Torres de enfriamiento. Fuente. <a href="https://es.123rf.com/photo_148538669_vista-de-la-planta-de-energ%C3%ADa-y-torres-de-enfriamiento-el-humo-sale-de-una-torre-de-refrigeraci%C3%B3n-de.html">https://es.123rf.com/photo_148538669_vista-de-la-planta-de-energ%C3%ADa-y-torres-de-enfriamiento-el-humo-sale-de-una-torre-de-refrigeraci%C3%B3n-de.html</a>	30
Imagen 12. Captura de CO <sub>2</sub> por Oxi-combustión. Fuente Adaptación de Centrales Térmicas de Carbón	35
Imagen 13. Etapas del proceso de absorción química. Fuente. <a href="https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/co2capture/Postcombust.htm">https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/co2capture/Postcombust.htm</a>	36
Imagen 14. Esquema tecnología calcinación/carbonatación Fuente. <a href="https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/co2capture/Postcombust.html">https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/co2capture/Postcombust.html</a>	37
Imagen 15. Representación de las reacciones producidas Fuente. <a href="http://filtrosdiesel.cl/reduccion-catalitica-selectiva-scr">http://filtrosdiesel.cl/reduccion-catalitica-selectiva-scr</a>	39
Imagen 16. Representación de las reacciones producidas Fuente. <a href="https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno10/mitigacion/NOx.html">https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno10/mitigacion/NOx.html</a>	40
Imagen 17. Reacciones producidas Fuentes. <a href="https://estrucplan.com.ar/tecnologias-de-desulfuracion-de-los-gases-de-combustion-03-desulfuracion-a-humedo-ost/">https://estrucplan.com.ar/tecnologias-de-desulfuracion-de-los-gases-de-combustion-03-desulfuracion-a-humedo-ost/</a>	42





Imagen 18. Desulfuración de gases FGD Fuente. [https://www.idealtech.com/es/solutions/soluciones-para-tratamiento-de-agua-industrial/power-petrochemical/flue-gas-desulfurization-fgd/?data=item\\_1](https://www.idealtech.com/es/solutions/soluciones-para-tratamiento-de-agua-industrial/power-petrochemical/flue-gas-desulfurization-fgd/?data=item_1) 44

Imagen 19. Distribución de Consumo de Energía Final. Colombia - 2015. PROURE 2017-2022 54





## Las Termoeléctricas a Nivel Internacional.

La energía eléctrica es de los recursos energéticos más empleados diariamente, siendo este un pilar del desarrollo industrial, parte esencial del desarrollo social y mecanismo primordial para el desarrollo tecnológico de los países. Teniendo esto en cuenta existen diversas formas de generar esta energía, entre ellas la que más se ha empleado a lo largo de los años y que produce grandes volúmenes de energía eléctrica proviene de las centrales termoeléctricas.

Las centrales termoeléctricas desde un inicio han funcionado por medio de la implementación de comburentes fósiles como lo son el gas natural, petróleo, carbón, los gases de combustión, la madera, entre otros generadores de energía altamente contaminantes al medio ambiente, es por esto que actualmente estos combustibles fósiles han sido sustituidos por recursos renovables como lo es la energía eólica, solar y geotérmica que le permiten a las centrales termoeléctricas disminuir el impacto ambiental que generan a la atmósfera.

Ahora bien, se contempla que en el 2040 la temperatura global aumentará  $1,5^{\circ}\text{C}$  si no se contrarresta las acciones que ocasionan los problemas del cambio climático; entre estos problemas se encuentra las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) siendo este el gas de efecto invernadero y es producido en su mayoría por las centrales termoeléctricas. Sin embargo, este problema ha sido contemplado por muchos países entre ellos se encuentra Estados Unidos y la Unión Europea quienes han reducido considerablemente la utilización de este método de producción energética, en caso contrario se tiene al continente asiático más específicamente a los



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



países como China, India, Indonesia, Japón, Taiwán y Vietnam quienes han incrementado la producción de este tipo de energía como lo evidenció la investigación realizada por Álvaro Merino (El Orden Mundial [EOM], 2021), quien realizó un mapa (Imagen 1.) donde se muestran los países con mayor cabida de producción de electricidad mediante las termoeléctricas.



Imagen 1. Centrales eléctricas en el mundo. EOM (2021)

Asimismo, CarbónBrief (2020) analizó el pasado, presente y futuro de las termoeléctricas de carbón del planeta mediante una línea de tiempo interactiva permite observar cuales se encuentran cerradas, en funcionamiento, cuales eran nuevas, cuales estaban en construcción y cuales estaban planificadas a futuro en un lapso de tiempo entre el 2000 y 2019.



**"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"**  
Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
www.unipamplona.edu.co



En la Imagen 2, se muestra un mapa hecho por CarbónBrief donde se puede observar y comprobar que la implementación de las termoeléctricas fundamentado de combustibles fósiles como productor de energía eléctrica aumenta en algunas regiones y disminuye en otras donde se sustituye por una más amigable con el ambiente.

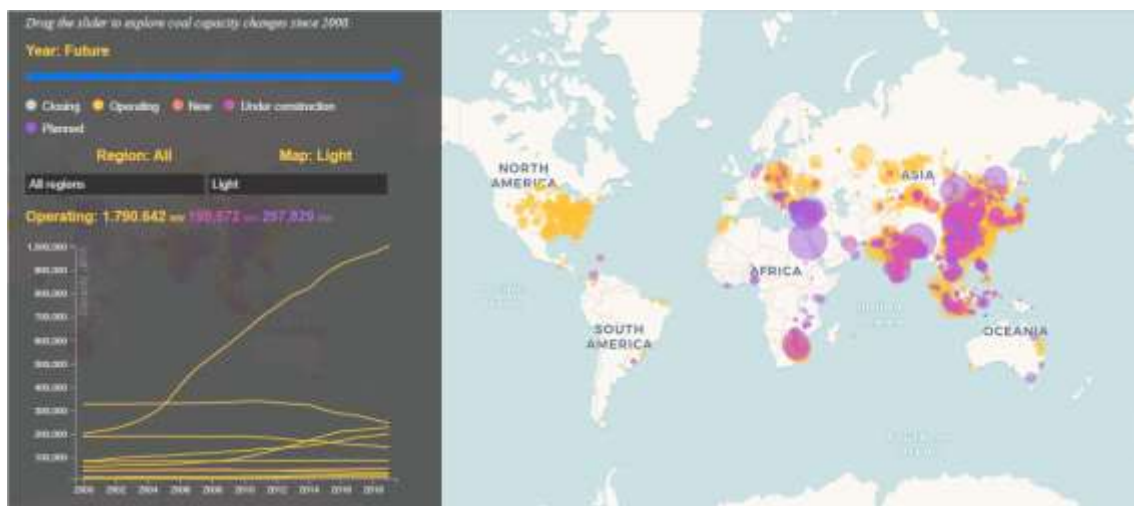


Imagen 2. Centrales eléctricas de carbón del mundo. CarbonBrief. CLEAR ON CLIMATE (2020)

En Asia-Pacífico se encuentran las mayores productoras termoeléctricas a base de carbón, entre ellas encontramos once (11) de las más significativas y que en su mayoría están ubicadas en el continente asiático como se contempla a continuación:

### 1. Central eléctrica de Guohua Taishan.

Se encuentra ubicada en la ciudad de Taishan. Las instalaciones cuentan con 7 unidades, 5 que generan 600 Megavatio y las otras restantes producen 1000 Megavatio, para un total 5000 Megavatio a base de una planta de carbón.



## 2. **Central térmica de Guodian Beilun.**

Está situada en la población de Ningbo, Zhejiang, China. Esta central eléctrica cuenta con siete unidades generadoras de energía de las cuales las primeras cinco (5) producen 600 Megavatio y las restantes producen 1000 Megavatio lo cual le permite producir 5000 Megavatio y que alimentar la red eléctrica de China Oriental.

## 3. **Central térmica de Tuoketuo.**

La planta está ubicada en Togtoh, China. Esta central tiene la capacidad de generar 5400 Megavatio y está proyectada una ampliación para poder generar los 6000 Megavatio. Es una central a base de carbón la cual se compone de ocho unidades que generan 600 Megavatio y dos unidades adicionales de 300 Megavatio.

## 4. **Central eléctrica de Waigaoqiao.**

Está ubicada en Pudong, Shanghai, China. Esta central produce 5000 Megavatios mediante la implementación de cuatro unidades generadoras de energía las cuales son de 300 Megavatio, 900 Megavatio y 1000 Megavatio.

## 5. **Central eléctrica de Jiaxing de 5000 Megavatios.**

Esta central está ubicada en la ciudad de Jiaxing, en Zhejiang. Esta funciona desde el año 1995 hasta el día de hoy. Cuenta con dos unidades subcríticas de 300 Megavatio, cuatro unidades supercríticas de 600 Megavatio y dos unidades generadoras de 1000 Megavatio.



#### 6. **Central térmica de Zouxian.**

Se encuentra ubicada en la provincia de Shandong, China. Esta central se compone de cuatro generadores de 335 Megavatios, dos generadores de energía de 600 Megavatios y dos generadores de energía de 1000 Megavatios.

#### 7. **Complejo eléctrico Paiton.**

Está ubicada en Java Oriental, Indonesia. Esta central tiene la capacidad de producir 4710 Megavatio, esta central se compone por 9 unidades, las unidades 1 y 2 generan 400 Megavatio, las unidades 3 y 4 generan 800 Megavatio, las unidades 7 y 8 generan 615 Megavoltio, las unidades 5 y 6 generan 610 Megavoltio y la unidad 9 de 660 Megavoltio, cada una de estas varía en cuanto a quién es su poseedor.

#### 8. **Central térmica de Taichung.**

Está ubicada en Longjing, Taiwán. Es considerada como una de las centrales generadoras de energía a base de carbón, generando 5500 Megavatios de potencia, lo cual lo hace en uno de los mayores productores de CO<sub>2</sub> pues llega a producir cerca de 40 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anualmente.

#### 9. **Central térmica de Belchatow.**

Se encuentra situada en Belchatów, en la provincia polaca de Łódź. Esta central genera 5474 MW al año siendo uno de los potenciales generadores de energía de Polonia. Para finales del 2024 se planea que esta central cuente con una capacidad



solar fotovoltaica de 600 Megavatios y 100 Megavatios de capacidad eólica terrestre.

#### 10. **Central térmica de Vindhychal.**

Está ubicada en Singrauli, India. Es una central eléctrica a base de carbón, con capacidad de 4760 Megavatio la cual proporciona energía eléctrica a la nación.

#### 11. **Central térmica de Mundra.**

Está ubicada en Mundra, en Gujurat. El combustible que se utiliza en esta central para generar la energía es el carbón, lo que permite producir alrededor de 4620 Megavatios, esto es posible por nueve generadores de energía. De estos generadores del 5 al 9 producen 660 Megavatios y los generadores del 1 al 4 tienen potencia para producir 330 Megavatios.



## Las Termoelectricas a Nivel Nacional

Se han presentado en lo que es desde el pasado el desarrollo de los combustibles fósiles para la creación de electricidad o para generar calor en plantas eléctricas, este tipo de energía basado en la utilización del calor (energía mecánica) que a través de un generador o turbina dan principio a otro tipo de energía, de esta manera nace lo que es la utilización de energía a partir de un material que hace uso de recursos que no son de característica renovable, por este motivo estos materiales pueden tener un momento donde se llegue su término, y para su nueva adquisición podrían pasar millones de años para su formación.

La utilización de combustibles fósiles hasta la actualidad ha sido de los fundamentales medios de producción energética, que han hecho que la rutina diaria muchas veces se convierte en una comodidad desde la cocina, hasta el de poner en marcha los vehículos, pero esto entonces conlleva a que la sociedad depende en gran medida en la creación de esta energía sea el que promueva su desarrollo económico, al mismo tiempo al ser los combustibles fósiles el motor de producción en la sociedad su excesivo uso hace que me genere una gran cantidad de contaminantes atmosféricos que estropean en todo momento la calidad del aire que me generan impacto dentro de la salud la población en general no solo del sector donde se efectúa directamente, sino también por fuera de él.

En Colombia el 63,7% de la energía por ser un país rico en recurso hídricos se genera a partir de estos, pero el otro 31,5% de la energía está basada en la quema de combustibles fósiles





(térmicos) como lo son el carbón, el gas, fueloil y combustóleo. Aunque actualmente no parecen números muy significativos se mira la importancia que se le ha dado a la contaminación atmosférica y del aire con esto la producción de energía eléctrica en Colombia partía con “TE BOGOTA ELECTRIC LIGHT CO” que fue el primer intento de termoeléctrica que para brindar como tal esta efecto uso carbón como el combustible térmico pero por su baja fiabilidad se dio por terminada en 1905, siendo el comienzo no solo a la expansión de las termoeléctricas para brindar energía sino la búsqueda de aires limpios y la formación de las hidroeléctricas.

Actualmente Colombia cuenta con 6 termoeléctricas importantes como lo es NENCOL 5, que pertenece a Nodo Energético del Norte de Colombia que tiene una capacidad de propuesta de 1140 MW previsto para la ciudad de Santa Marta esta comprende de tres turbinas de ciclo simple y esta como base a partir de gas natural como su fuente básica de combustible, esta TASAJERO III, que pertenece a Termotasajero de 180MW que ha sido una planta con base en carbón como combustible complementaria con un generador para satisfacer la creciente demanda, ubicada en San Cayetano en Norte de Santander, se tiene a TERMO GAIRA propiedad del mismo nombre que tiene una capacidad propuesta de 93,8 MW que como combustible su uso base sale a partir del gas y hace parte del polo energético norteño en Santa Marta, departamento del Magdalena, tenemos a TERMOCOSTA con una capacidad propuesta de 93,8MW también que al igual que Termo Gaira hace parte del polo energético de Santa Marta, está también TERMO PALERMO y TERMO BONDA que también hacen parte de Santa Marta que tienen una capacidad propuesta de 90 y 60 MW.



*“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



## Síntesis General De Los Procesos De Una Termoeléctrica.

Las centrales termoeléctricas (CTE) son instalaciones industriales encargadas de la producción de energía partiendo del uso del agua y el calor que resulta del proceso de combustión, lo cual es fruto de la quema de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural o los derivados del petróleo. Las centrales eléctricas son la forma más empleada para la producción de energía, teniendo en cuenta que su implementación resulta ventajosa a pesar del impacto negativo hacia el medio ambiente.

Las centrales termoeléctricas se pueden clasificar según su ciclo de funcionamiento teniendo de esta forma las CTE clásicas o de ciclo convencional o las CTE de ciclo combinado. Las CTE de ciclo convencional emplean combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica utilizando turbinas de vapor, considerándose este tipo de centrales como económicas y más comunes. Las centrales termoeléctricas de ciclo combinado tienen como característica principal que emplean turbinas de vapor y gas para la generación de energía, permitiendo de esta forma generar la misma energía, pero con mayor eficiencia y con menos impactos ambientales.

### CTE Convencional

Dentro de las múltiples formas de generar energía se encuentran las centrales termoeléctricas a base de carbón, las centrales termoeléctricas a base de coque de petróleo y las centrales termoeléctricas a base de gas; la ubicación de las centrales termoeléctricas permite la



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



elección del tipo de combustible a utilizar teniendo en cuenta que se analiza cual es la más indicada y cuál es la que genera una mejor perspectiva en el ámbito económico.

Las centrales termoeléctricas a base de carbón son de las más abundantes debido a que el carbón es un combustible muy versátil y cuenta con múltiples características que le otorgan gran importancia para este proceso.

El carbón es un recurso abundante y su distribución geográfica es muy diversa, permitiendo que sean múltiples los beneficiados de este recurso, algo que difiere de otros combustibles que debido a factores como su ubicación, su accesibilidad, sus costos y otros factores los convierten en combustibles muy competitivos; aunque la extracción del carbón no es tan segura ni sustentable; su transporte, almacenamiento y utilización se hace de forma segura y sin tanta dificultad.

Las centrales termoeléctricas a base de petróleo lideran en la generación de energía y aunque su combustible es muy competitivo genera ciertas opiniones tanto a favor como en contra llevando al debate de si es viable su implementación.

El petróleo es un recurso altamente valorado en diversos sectores, pero especialmente en el sector comercial y el sector político esto a nivel mundial, pues es la base o materia prima para la producción de múltiples productos que son utilizados diariamente y que resultan rentables en una economía. Aunque es altamente implementado su obtención es laboriosa, su capacidad de





reposición es baja y causa un gran impacto ambiental con grandes repercusiones, esto hace que se considere frecuentemente en optar por la implementación de energía sustentable.

Las centrales termoeléctricas a base de gas son de las menos empleadas en cuanto a lo que respecta a los combustibles fósiles.

El gas natural es el combustible fósil menos contaminante y con mejor rendimiento energético, su no tan complicada extracción del punto de origen y su poca necesidad de tratamiento para obtener su producto final lo está convirtiendo en un combustible atractivo para implementar no solo en la generación de energía sino en múltiples ámbitos industriales.

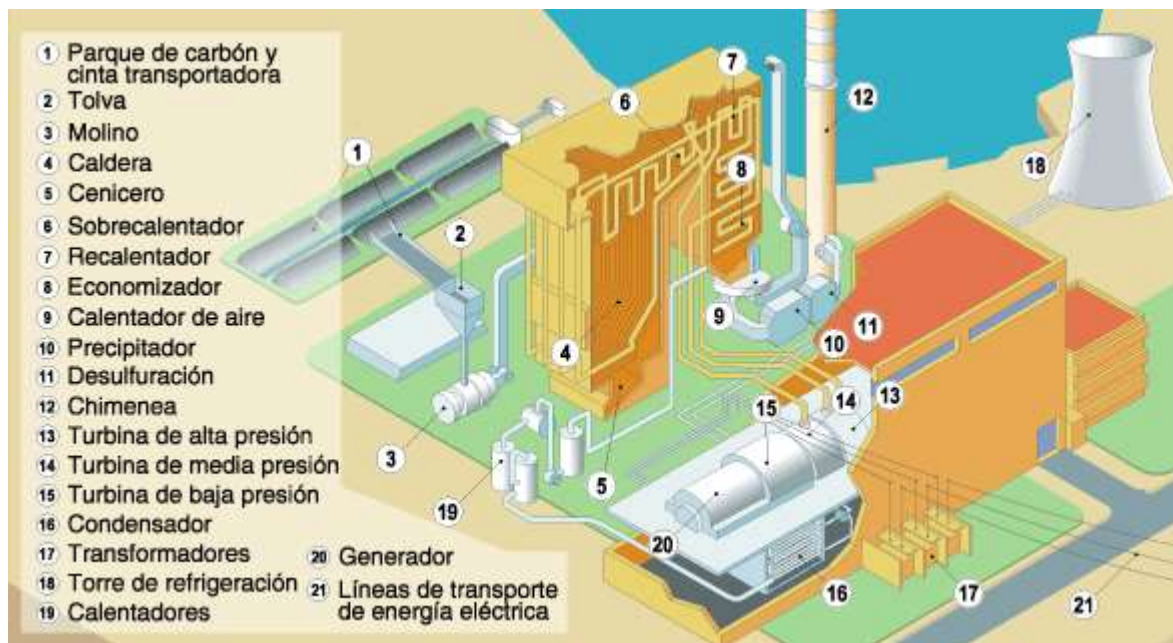


Imagen 3. CTE Convencional de Carbón. Fuente.  
[https://mat.camino.upm.es/wiki/Estudio\\_de\\_Viabilidad\\_y\\_Localizaci%C3%B3n\\_de\\_una\\_Central\\_T%C3%A9rmica](https://mat.camino.upm.es/wiki/Estudio_de_Viabilidad_y_Localizaci%C3%B3n_de_una_Central_T%C3%A9rmica)



La Imagen 3 representa el bosquejo de funcionamiento de las termoeléctricas. Este esquema de funcionamiento es prácticamente el mismo para cualquiera del combustible fósil (carbón, petróleo o gas) que se empleen, aunque uno de los factores que son más notables y que varían en el esquema de funcionamiento es la forma de almacenamiento e ingreso del combustible a la caldera donde se realizará el proceso de combustión.

El funcionamiento de una termoeléctrica inicia con la quema del combustible en una caldera, produciendo de esta forma calor y evaporando el agua que se encuentra en el sistema para así producir vapor el cual impulsa las turbinas que generan la energía. Al finalizar este proceso el vapor pasa de estado gaseoso a estado líquido y comienza el ciclo de nuevo.

En cuanto a los gases de combustión que ya no son útiles en la generación del vapor que genera electricidad, son desprendidos al aire por medio de las chimeneas. Para asegurarse de recuperar la energía térmica emitida por los gases de combustión se encuentra instalado un precalentador regenerativo, esto sucede justo antes de que los gases sean desprendidos a la atmósfera. El vapor generado es conducido a través de tuberías hasta las turbinas de baja, alta e intermedia presión. En la turbina se convierte la energía térmica a partir del vapor a energía mecánica donde está necesaria para accionar los álabes de la turbina haciéndola girar. Con la energía mecánica que se genera en la turbina, se permite accionar el generador eléctrico que es donde se lleva a cabo la producción de electricidad. La cantidad de combustible utilizado para el



proceso depende de la demanda de electricidad y el número de unidades de generación en operación.

Para minimizar las emisiones de contaminantes atmosféricos emitidas al aire por la operación de estas centrales algunas de ellas cuentan con equipos de control de emisiones

Dentro de los elementos más importantes que destacan en las centrales termoeléctricas se puede describir las siguientes:

- Caldera. Es el equipo donde se genera la incineración de los combustibles fósiles, generando en este sitio el calentamiento del agua para luego convertirse en vapor y pasar de este lugar a las turbinas.



Imagen 4. Caldera de la Central Térmica de Orcasitas. Fuente. <https://ullastres.com/central-termica-de-orcasitas-funcionamiento-eficiente/>



- Turbina. En este equipo podemos encontrar el vapor que fue previamente generado en la caldera, este llega con temperaturas elevadas lo que hace que su presión sea elevada permitiendo generar movimientos de altas velocidades.



Imagen 5. Turbina de vapor, la revolución de la energía. Fuente. <https://www.cientifiko.com/turbina-de-vapor/>

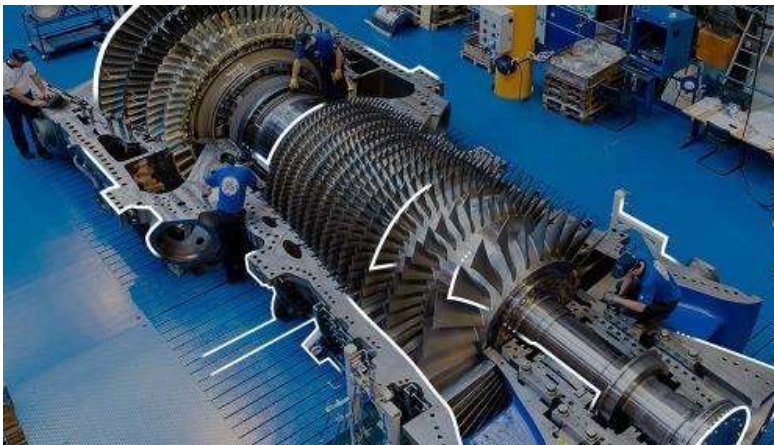


Imagen 6. Turbina de gas. Fuente. <https://gereportslatinoamerica.com/la-mayor-planta-termoel%C3%A9ctrica-de-gas-natural-en-am%C3%A9rica-latina-cuenta-con-tecnolog%C3%ADa-de-ge-y-se-ba2c4189e2d7>



SC-CER96940

*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



- **Generador.** Su funcionamiento está enfocado en la transformación de la energía térmica producto de la quema de los combustibles a lo que es propiamente la energía eléctrica.



Imagen 8. Generador de turbina de vapor (1MW-1000MW). Fuente. [https://es.made-in-china.com/co\\_runhbtg/product\\_Steam-Turbine-Generator-1MW-1000MW-hehngnrhy.html](https://es.made-in-china.com/co_runhbtg/product_Steam-Turbine-Generator-1MW-1000MW-hehngnrhy.html)

- **Subestación.** Son las instalaciones encargadas de transformar la energía que se produce, permitiendo modificar su tensión y otros aspectos necesarios para que pueda ser transportada de la mejor forma y sea entregado a sus beneficiarios en cada uno de los lugares donde sea requerido.



Imagen 9. Subestación Termoeléctrica Quevedo - Conalba. Fuente: <https://www.conalba.com/subestacion-termoelectrica-quevedo/>

- Condensador. Es el encargado de convertir nuevamente en agua el vapor que pasa por la turbina, esto se lleva a cabo mediante la implementación de agua fría.



Imagen 10. Condensador de vapor. Fuente: <https://www.directindustry.es/prod/shanghai-electric-group-co-ltd/product-206861-2309899.html>



- Torre de refrigeración. Es el encargado de entregarle agua fría al condensador teniendo en cuenta que el líquido que circula en él se encuentra caliente.



Imagen 11. Torres de enfriamiento. Fuente. [https://es.123rf.com/photo\\_148538669\\_vista-de-la-planta-de-energ%C3%ADa-y-torres-de-enfriamiento-el-humo-sale-de-una-torre-de-refrigeraci%C3%B3n-de.html](https://es.123rf.com/photo_148538669_vista-de-la-planta-de-energ%C3%ADa-y-torres-de-enfriamiento-el-humo-sale-de-una-torre-de-refrigeraci%C3%B3n-de.html)

## CTE Combinado

Para el momento se ha mencionado lo que son las termoeléctricas de tipo clásico, pero también existen termoeléctricas de CTE combinado que reside en una especie de turbinas a gas - generador, un fogón donde se recupera el calor y otro conjunto entre motor a vapor generador así consiguiendo un método que genera energía eléctrica. El término combinado viene como se menciona en relación a que en este sistema se puede hacer uso de más de una energía a la vez, primero está la energía la turbina a gas, que ha ejemplo es algo similar el sistema que utilizan los aviones, este sistema es aún más limpio en relación con los otros combustibles usados al ser gas



natural, este antes debe pasar por procesos de limpieza a través de filtros eliminando partículas que puedan de alguna manera afectar el correcto funcionamiento de la planta. Dentro de este sistema se debe inyectar aire a la turbina para la combustión el cual al igual que el gas usado debe ser filtrado en este caso eliminando partículas de hasta 5 micrones. De esta manera los gases que se produzcan a altas temperaturas en la primera etapa sean aprovechados para con estos crear vapor y así sustentar la turbina a vapor que al mismo tiempo esta se convierte en un conjunto de tres turbinas ubicadas en serie las cuales tiene la misma función que es mover el mismo generador. Todo esto se consigue a través de expansiones y el recalentamiento del vapor que antes de condensarlo, pasa varias veces por la turbina. En este sistema el vapor se refrigera en cuartos cerrados para que el agua pueda ser reutilizada después de que haya pasado por las diferentes torres de enfriamiento.

### ***Funcionamiento de una central CTE combinado***

Para la producción de la electricidad dentro del CTE combinado este comienza con la obtención del aire del exterior para que sea guiado hasta el compresor del motor a gas, después este es combinado y comprimido con el carburante utilizado, para esta situación el gas natural, que dentro de una cama se produce la combustión. El producto de este proceso es el flujo de gases calientes que cuando se expanden cumplen con el trabajo de mover el motor a gas para que el generador adaptado al motor produzca energía eléctrica. Después de este proceso los gases que se producen en el motor a gas y salen, transitan a la chimenea donde es recuperado el calor en el cual directamente se extrae en lo posible la mayor cantidad de calor que se presenten en las



***"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"***

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



emisiones de salida y pasen así al periodo del vapor, esto que suceda con anterioridad a su emisión en la atmósfera.

La chimenea donde se recupera el calor antes de pasar al ciclo del vapor tendrá tres áreas en las que se intercambia el calor. En la primera a la que se le denomina economizador estará situado en lo más arriba de la chimenea y se recaliente hasta alcanzar la saturación. En la segunda área al que se le designa periodo de evaporación y está ubicado en el centro de la chimenea en este sector el agua pasa de estado líquido a estado gaseoso. La última y tercera área es la del recalentador la cual está situada en el sector bajo de la chimenea y es en el cual se encuentran las mayores temperaturas debido a que está más próximo de la puerta de emisión de gases del motor a gas y es donde el vapor que alcanza la saturación se recalienta mucho más.

Para continuar con el proceso el vapor es inyectado a la turbina a vapor donde este hace girar los álabes de la turbina lo que al cumplir su trabajo está generará energía eléctrica a través del generador que esté acoplado a la turbina a vapor. Como se mencionó anteriormente el vapor que pasa por la turbina se transformara en agua a través de un condensador el cual es enfriado por medio de sistemas los cuales inyectan agua a baja temperatura en la cara exterior de este, de esta manera se disipa el calor abarcado por el vapor. El agua sufre un proceso de desgasificación donde se eliminan todos los gases que no se puedan condensar, el agua es dirigida a presiones muy elevadas de nuevo en dirección de la chimenea recuperadora de calor donde el proceso inicia de nuevo.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



Algo de gran relevancia con respecto a la utilidad de las CTE de ciclo combinado es que logran un 55% aproximadamente de utilidad; aunque de manera específica no brinda un dato claro en cuanto a que esta utilidad se obtiene en el momento que la CTE está trabajando a todo su alcance.



SC-CER96940

*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



## Contaminantes líquidos y gases producidos en la generación de energía

Para la historia de la sociedad cada una de sus acciones implicadas desde la revolución industrial han generado contaminación por gases y líquidos emitidos gracias a las diferentes industrias en la forjación de comodidad para el ser humano, siendo las termoeléctricas una de las fuentes de contaminantes en lo que es la condensación de gases de efecto invernadero que han implicado en cambios climáticos, contaminación del aire, etc., ya que las termoeléctricas al hacer uso de combustibles fósiles emiten particularmente CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> entre otros.

### 1. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Es un gas que es inodoro e incoloro compuesto por oxígeno y carbono que a su vez está muy ligado con lo que es el efecto invernadero y los cambios climáticos, EPA agencia de protección ambiental de los estados unidos, 2022 afirma “El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el principal gas de efecto invernadero que se emite a raíz de las actividades del ser humano. En el año 2017, el CO<sub>2</sub> representó aproximadamente el 81,6% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en EE. UU. a raíz de las actividades del ser humano.” Por esta razón la minimización de CO<sub>2</sub> se ha propuesto como reto por cumplir para lo que son la reducción de cambios climáticos donde actualmente la producción de electricidad es responsable en cuanto a la emisión de una fuerte cantidad de gases de CO<sub>2</sub> debido a la incineración de combustibles fósiles, actualmente lo complicado de la reducción de CO<sub>2</sub> es la separación de este con los demás elementos presentes dentro de la atmósfera como los NO<sub>x</sub>, vapor de agua y otros dióxidos por tal



motivo se está implementando procesos de captura de CO<sub>2</sub> para que después este pueda ser almacenado en el subsuelo o en su defecto pueda ser utilizado como materia prima que sean de importancia industrialmente.

En la busca de la minimización de dióxido de carbono se presentan propuestas que ayuden a la captura del CO<sub>2</sub> con diferentes tipos de sistemas como lo son sistema de precombustión que como su nombre hace referencia consiste en modificar el combustible fósil para captura del CO<sub>2</sub> antes del proceso de combustión.

### ***Sistema de oxi-combustión***

Consistirá en la sustitución del aire necesario para la ignición para que los productos que se obtengan de este sean CO<sub>2</sub> y vapor de agua haciendo el método de separación más fácil y la obtención de CO<sub>2</sub> puro libre de otros gases como lo es el nitrógeno. Tiene como ventajas una reducción de los gases, así como los volúmenes de caldera, este proceso me permite una reducción de costes debido a la separación más fácil y su almacenamiento. El proceso de oxi-combustión hace que se mejore la transmisión de calor.

Las calderas en cuanto a la tecnología de oxicomcombustión miran la manera de realizar la combustión con un comburente que sea concentrado en oxígeno y que al mismo tiempo tenga baja concentración de nitrógeno de esta manera los resultados de CO<sub>2</sub> sea muy elevada para que su captación se facilite y de igual manera se reduzcan las emisiones de NO<sub>x</sub>. Esto implica que la planta necesite de una unidad de fragmentación de aire de esta manera lograr engrandecer el



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
www.unipamplona.edu.co



combustible en  $O_2$  y reducir la cantidad de nitrógeno como se muestra en la imagen 4, para después comprimirlo e inyectar en un almacenamiento adecuado.

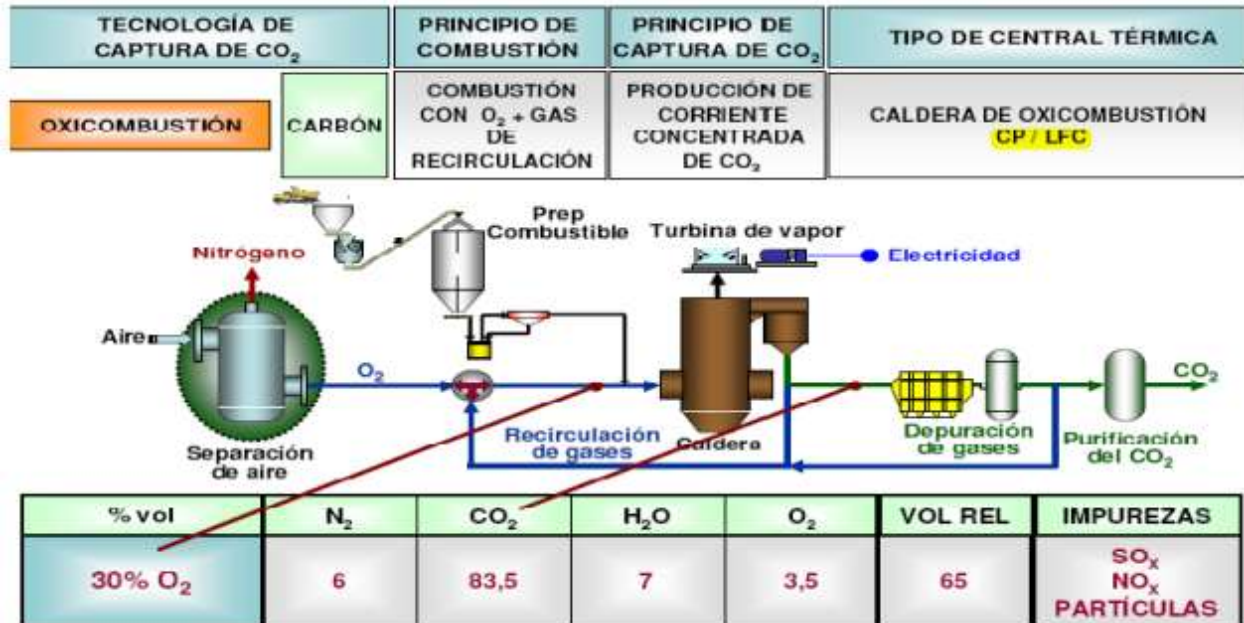


Imagen 12. Captura de  $CO_2$  por Oxi-combustión. Fuente Adaptación de Centrales Térmicas de Carbón

### Sistema de postcombustión

Este se realiza después de la combustión capturando a través de la separación de los demás gases así entre un 5 – 15 % en volumen de lo que será el total de la amalgama de las sustancias presentes. Esta tecnología es de un alto costo, pero se utilizan para pequeñas concentraciones de  $CO_2$ . Las diferentes tecnologías que se utilizan en la post – combustión esta la absorción física y química, separación criogénica, la adsorción y la separación por membrana.



**Absorción Química.** Un típico sistema de absorción química funciona a base de 3 integrantes empezando por el disolvente, absorbente y un separador. En este caso las emisiones procedentes de las diferentes fuentes de dióxido de carbono, tienen que entrar en contacto con el disolvente a través de absorbente y de esta manera se deduce a una menor concentración de dióxido de carbono, el absorbente rico en CO<sub>2</sub> se regenera en el separador en cuanto al absorbente pobre en CO<sub>2</sub> vuelve repetir el ciclo. Después el dióxido de carbono se recoge y se transporta. Este sistema es muy común usar y muy aplicable en la mayoría de plantas eléctricas a base de carbón.

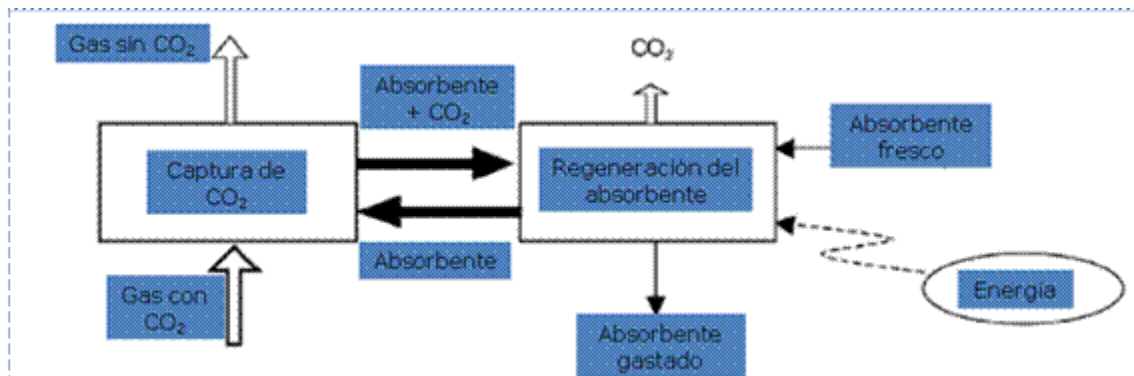


Imagen 13. Etapas del proceso de absorción química. Fuente. <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/co2capture/Postcombust.htm>

La imagen 5 describe las fases del procedimiento de absorción química proceso que se mencionó anteriormente.



**Ciclo de incineración-carbonatación.** Es otro proceso de absorción química donde el absorbente es la caliza. La carbonatación es un tipo de reacción exotérmica donde con la mezcla del  $\text{CO}_2$  se produce carbonato de calcio y la calcinación en cambio es el proceso inverso ya que se produce la desorción de  $\text{CO}_2$  y el  $\text{CaO}$  en la descomposición de la caliza en presencia de calor

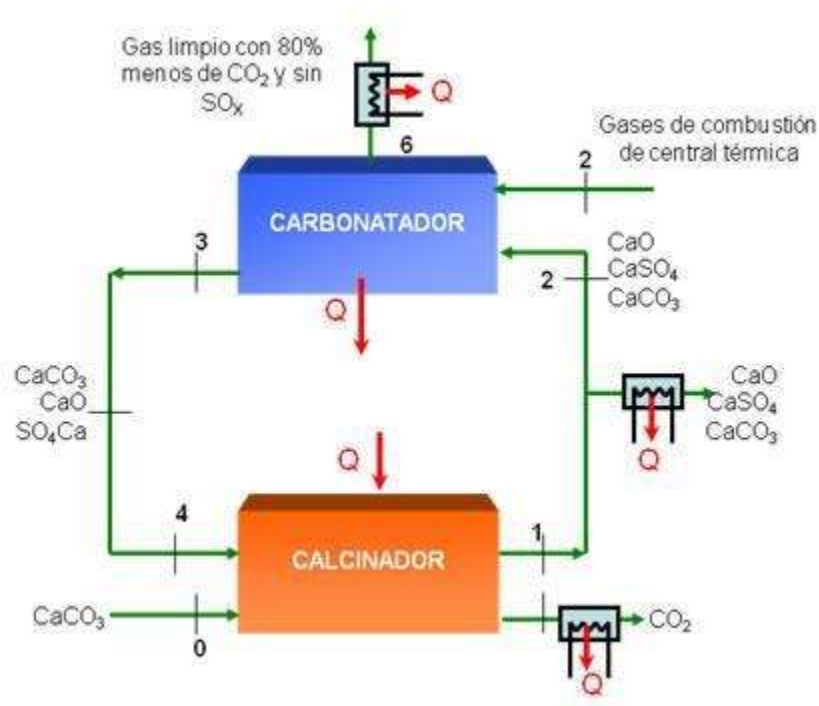


Imagen 14. Esquema tecnología calcinación/carbonatación Fuente. <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/co2capture/Postcombust.html>

La imagen 6 describe el proceso esquemático de la tecnología de calcinación/carbonatación y sus etapas durante el proceso.



**Absorción física.** Este es un proceso donde se utilizan materiales que tienen la capacidad de absorber el dióxido de carbono cuando se encuentran a altas temperaturas, donde después con el cambio de temperatura pueda ser recuperado o por procesos de presión como el TSA. Uno de los elementos utilizados en este proceso es el carbón activado, materiales mesoporosos que contiene poros entre 2 y 50 nm, zeolitas, alúminas entre otros.

### Óxidos de Nitrógeno (NOx)

Son gases que están compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) donde la palabra NOx hace referencia a la combinación de estas sustancias y aunque la emisión de NOx no representa un gran problema por su baja emisión, por razones medioambientales es necesario crear opciones de mitigación de estos ya que el real problema es cuando este se mezcla con el vapor y CO<sub>2</sub>, donde para hacer captura del CO<sub>2</sub> puro se vuelve más complicado y no se pueda hacer el correcto almacenamiento. Cabe resaltar que los dióxidos de nitrógeno pueden influir dentro de la atmósfera haciendo que estos sean pioneros en la formación de nuevas sustancias como el ácido nítrico.

En este caso los NOx al igual que con el CO<sub>2</sub> tiene procesos y sistemas de captura y reducción de sus emisiones como por ejemplo a través del empleo de quemadores de pequeñas emisiones de NOx donde de esta manera examinar el bajo uso de aire para la combustión, combustión por etapas, recirculación de gases de escape o dado el caso hacer la combinación de



estas técnicas ya que al reducir la densidad de O<sub>2</sub> en lo que es el sector de combustión también se reducirá las emisiones de NO<sub>x</sub>.

### ***Reducción catalítica selectiva***

Está lo que hace es brindar un reductor a la corriente de gases como urea o amoníaco que minimiza específicamente los NO<sub>x</sub> sin que exista reacción con terceros como el O<sub>2</sub>, todo esto tiene es controlado para mermar las emisiones ya que como ejemplo un exceso de urea puede provocar la producción de amoníaco por las chimeneas y por el contrario nacería otro problema en los contaminantes. Este proceso se realiza para la minimización de NO<sub>x</sub> frente a grandes cantidades de oxígeno. En este proceso el amoníaco es diluido con aire y directamente inyectado junto a la corriente de gases que se desean tratar.

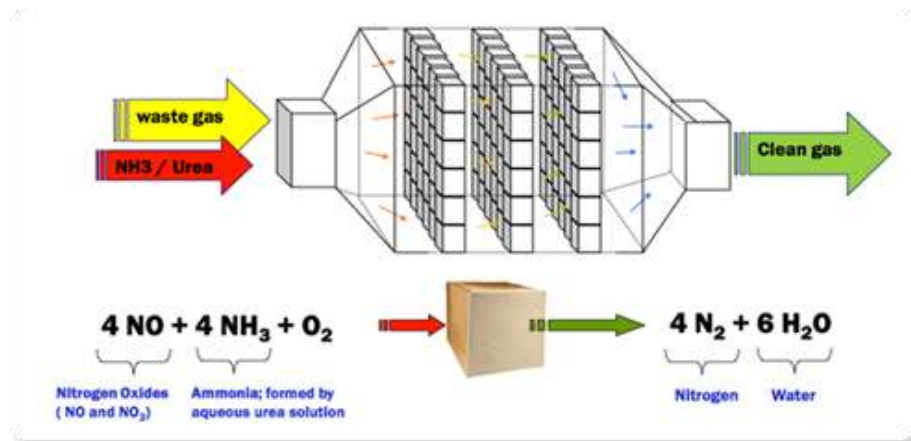


Imagen 15. Representación de las reacciones producidas Fuente. <http://filtrosdiesel.cl/reduccion-catalitica-selectiva-scr>



### Reducción catalítica no selectiva

De la misma manera existen mecanismos de reducción catalítica no selectiva, que permiten la captura de los NOx los cuales se presentan postcombustión, lo cual difiere del mecanismo de reducción catalítica selectiva, donde en este sistema se utiliza un reactivo que se presenta en los gases de salida aún con calor para que así reaccionan con los gases NOx convirtiéndolos en nitrógeno molecular y agua. Este proceso tiene que puede reaccionar de la misma manera con otros gases sin embargo la reacción de los NOx se ve favorecida a un determinado rango de temperatura

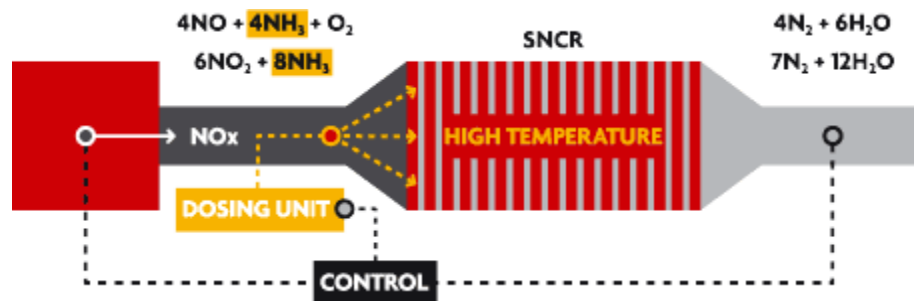


Imagen 16. Representación de las reacciones producidas Fuente. <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno10/mitigacion/NOx.html>

### SOx

El dióxido de azufre es muy común dentro de las termoeléctricas ya que comúnmente su producción se da por la incineración de combustibles fósiles. Siendo de los óxidos contaminantes más dañinos que posee características incoloras pero que se caracteriza por un olor irritante. Estos óxidos son regulados por la norma debido a los efectos que genera en los ecosistemas como en la





salud del ser humano, sus efectos pueden verse reflejados a grandes radios incluso a kilómetros ya que junto con el  $\text{NO}_2$  son pioneros en la formación del ácido nítrico y sulfúrico en la atmósfera.

La manera que se cuenta como más simple de disminuir el  $\text{SO}_2$  es cambiando los materiales usados durante la combustión por aquellos que tengan bajo contenido de azufre, de lo contrario, siendo el caso en que este método no sea posible se han efectuado sistemas postcombustión con la utilización de reactivos para la captura de  $\text{SO}_2$ .

### ***Desulfuración de gas***

Existen sistemas de desulfuración de gas que procede a través de la absorción del  $\text{SO}_2$  para luego ser tratado o pueda eliminarse de manera correcta como deshecho. Con las tecnologías de regeneración el  $\text{SO}_2$  puede ser removido del absorbente para luego ser tratado y ser procesado para producir azufre elemental o ácido sulfúrico. Los procesos regenerables se han visto en la actualidad bastante utilizados ya que este tipo de elementos puede de manera sencilla ser convertido en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido sulfúrico) para después ser distribuido, el problema son los excesivos costos que se causen por la operación que no se ven opacados por la venta de los sulfuros.



SC-CER96940

*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)

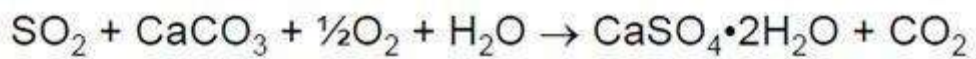
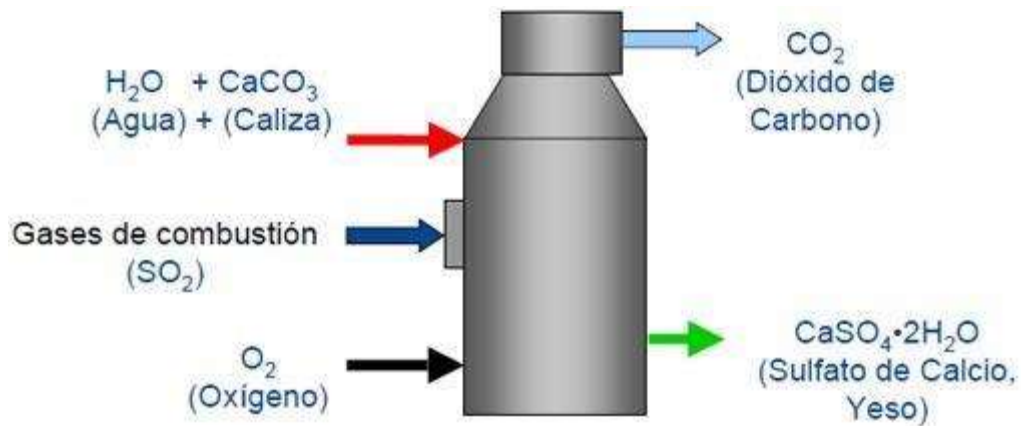


Imagen 17. Reacciones producidas Fuentes. <https://estrucplan.com.ar/tecnologias-de-desulfuracion-de-los-gases-de-combustion-03-desulfuracion-a-humedo-ost/>

### Depuradores Mojados no regenerables

De la misma manera existen sistemas en los que se utilizan depuradores mojados que no son regenerables donde este sistema hace que se efectúe la oxidación bajo condiciones favorables, aunque es necesario estar pendiente al grado de oxidación para de esta manera mejorar la confiabilidad de la operación. Para la actualidad se ha convertido en un excelente sistema de desulfuración, la oxidación por medio del llenado de aire en donde la caliza se le exige tener este proceso en la mezcla, aunque este sistema incluye nuevas configuraciones en el sistema de manera que se haga en donde se sople aire dentro del tanque y de esta manera se ocasione la oxidación in situ o de lo contrario al no hacerse de esta manera implementar un tanque adicional



y en este caso se produciría oxidación ex situ, como se menciona es necesario implementar otros accesorios como compresores o sopladores e incluso tubería.

### ***Depuradores secos no regenerables***

Están los depuradores secos no regenerables, donde en este sistema tiene contacto un absorbente alcalino con los gases de salida donde generalmente el absorbente suele ser cal, este se une a las emisiones salientes en mezcla acuosa, polvo sino por lo contrario directamente al horno. Existen procesos como:

- Proceso de secado por aspersión de cal.
- Proceso de inyección de adsorbente en horno.
- Proceso de inyección de sorbente en conductos.

### ***Depuradores secos regenerables***

La técnica de desulfuración de emisiones de combustión regenerables es otro sistema aplicable, pero de menor uso ya que son sistemas más costosos que los sistemas de la desulfuración de gases de combustión no regenerables por su mayor demanda durante la operación y mantenimiento. Aun así, existen tipos de este FGD (Desulfuración de Gases de Combustión No Regenerables) que se muestran a continuación:



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



Imagen 18. Desulfuración de gases FGD Fuente. [https://www.ide-tech.com/es/solutions/soluciones-para-tratamiento-de-agua-industrial/power-petrochemical/flue-gas-desulfurization-fgd/?data=item\\_1](https://www.ide-tech.com/es/solutions/soluciones-para-tratamiento-de-agua-industrial/power-petrochemical/flue-gas-desulfurization-fgd/?data=item_1)

### **Tecnología de la desulfuración de gases de combustión mojada regenerables con óxido de magnesio.**

Esta tecnología que como se dice se aplica un depurador mojado, pero con anterioridad haciendo un pre depurado de cloruro de hidrógeno y fluoruro de hidrógeno que tendrá que ser removido para después el absorbente con el  $\text{SO}_2$  sea secado y después calcinado para de esta manera reformar el óxido de magnesio.





### ***Tecnología de la desulfuración de gases de combustión con $\text{CaCO}_3$ (carbonato de sodio).***

Para este caso el  $\text{SO}_2$  (dióxido de azufre) será colocado con carbonato de calcio donde su resultado será sulfito y sulfato de sodio para después estos sean reducidos a sulfuro de sodio. Después es puesto a reaccionar el dióxido de carbono con agua a fin de la restauración del carbonato de sodio con el fin de convertir el sulfuro de sodio a azufre.

### ***Tecnología de la desulfuración de gases de combustión mojada regenerables con aminas.***

Este sistema con un absorbente acuoso de aminas donde estas son reconstituidas de manera termal para soltar un aglutinado que contiene agua con  $\text{SO}_2$

### ***Tecnología de la desulfuración de gases de combustión seca regenerables con carbón activado.***

Este proceso hace uso de carbón activado granulado donde se activa de manera térmica regenerado para producir un concentrado de  $\text{SO}_2$  que al igual que en el anterior caso puede ser tratado para producir ácido sulfúrico.

### **Materiales tóxicos.**

Se ha presentado que los materiales particulados o los gases que anteriormente se refirió pueden tener composiciones tóxicas como óxidos e hidruros de metales: mercurio, níquel, arsénico o minerales como el berilio, plomo, asbestos en medio de otros donde sus consecuencias pueden variar de acuerdo a su carácter tóxico, como por ejemplo el mercurio influye en el



***"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"***

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



desarrollo de cáncer y daños en el sistema nervioso. Generalmente son elementos que sus emisiones son muy bajas ya que su concentración en los combustibles fósiles utilizados, es bajo.

Para captura de estos elementos existen varios materiales que al momento de contacto con estos vapores los capturan y sellan, un ejemplo de esto es el uso de hidroxilapatito que junto a algunos materiales capturados se usan en la industria cementera.

### **Cenizas.**

Este es un producto sólido que se presenta principalmente por la combustión de carbón, ya que en este elemento el volumen de ceniza es elevado. En los procesos de generación termoeléctrica van a existir dos tipos de ceniza como lo son la ceniza de fondo y la ceniza de chimenea donde la primera es la ceniza que queda como restante a la que no sale por la chimenea que es material volante, donde estos materiales de acuerdo al sistema que se esté efectuando son recolectados para después puestos junto con el material de fondo tengan tratamientos adecuados para su respectiva disposición, además que de estos materiales también son analizados para determinar los valores de contenido en el material utilizado en la combustión con respecto al azufre, carbono, nitrógeno y otros elementos que puedan estar.



SC-CER96940

*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



## Eficiencia Energética en Colombia

El cambio climático es uno de los motores que ha impulsado a todo el mundo para poder realizar pequeños o grandes pasos hacia la mejora de nuestros actos en pro del medio ambiente, esto sucede mediante la puesta en marcha de programas nacionales que velan por la eficiencia y el avance hacia una energía más verde y menos dañina a largo plazo, reglamentos y estatutos.

En Colombia el Ministerio de Minas y Energía (**Minminas**), es el principal encargado de vigilar, delegar e implementar las medidas que se toman a cabo para enfrentar los cambios producto de la producción energética, dentro de sus esfuerzos para hacer de Colombia un país más verde y sustentable se creó una Unidad de Planeación Minero Energética (**UPME**) la cual ha venido proponiendo medidas que regulen el ámbito energético y la transición a bajas emisiones de carbono, teniendo esto en cuenta desarrolló varios proyectos de eficiencia energética como lo es el programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE), el Balance de Energía Útil para Colombia (BEU), el proyecto de Eficiencia Energética en la Industria Colombiana 2016-2019 y el Programa de Evaluación Industrial PEVI 2018-2022.

### Plan Energético Nacional 2020-2050

El PEN es un documento que define una visión a largo plazo -en este caso de treinta (30) años- para el sector energético lo cual no quiere decir que pronostica cómo será el futuro al contrario plantea posibles escenarios donde se analiza aspectos tecnológicos, económicos, alternativas e identifica los posibles caminos que se podrían tomar velando por el sector





energético colombiano, teniendo siempre en cuenta las implicaciones de cada posible camino y siempre siendo consecuente con los objetivos de política pública.

El PEN es el producto de la unión de tres partes elementales. La primera compete a la integración de la visión interdisciplinario en un entorno de ciencia y tecnología, economía y sociedad y gobiernos y políticas públicas a largo plazo. La otra parte corresponde a la colaboración y construcción en conjunto entre la comunidad involucrada y el gobierno y finalmente, el modelamiento y análisis energético por parte de la UPME.

### ***Pilares del PEN 2020-2050***

El PEN tiene cuatro (4) pilares para alcanzar la visión propuesta teniendo en cuenta las áreas que permiten el impulso y dinamización de los actos del grupo privado, la academia y demás intermediarios involucrados en el alcance de la visión. Estos son:

1. La certeza del abastecimiento en cuanto a la energía.
2. Disminución y adecuación al cambio climático
3. Potencial y desarrollo económico
4. Conocimiento e innovación



***"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"***

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



### **Metas del PEN 2020-2050**

Este es el grupo de acciones que permiten avanzar conforme a lo que se propone en la visión y las estrategias planteadas en los pilares, para de esta forma poder llegar a los resultados que se esperan. En este caso se plantean ocho objetivos:

**Objetivo 1: Permitir la entrada al universo a soluciones energéticas justas, con modelos de calidad y factibles.** Se busca proporcionar a los usuarios del país energía con condiciones de calidad para que se desarrollen las actividades cotidianas de la mejor forma.

**Objetivo 2: Variar el molde energético.** Pretende reducir el trance de desabastecimiento mediante el empleo de recursos locales, de nuevos energéticos y de tecnologías que completan el molde actual y la entrada de corrientes de mercadeo internacional.

La variación del molde energético está unido a la confianza y el abastecimiento; aunque, esta es una meta que también pretende brindar un ambiente productivo para el cambio y adelanto de nuevos negocios y lograr la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). (PEN, 2020, p.55)

**Objetivo 3: disponer de un sistema energético resiliente.** recalca el menester de dedicar, gestionar y conservar todos los recursos y el patrimonio humano, con la intención de proporcionar servicio energético ante posibles fallas o eventos extraordinarios que puedan alterar el flujo de energía.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



**Objetivo 4: Innovar en métodos energéticos de pequeñas emisiones de GEI.** Esta meta se enfoca en la minimización de los GEI en la oferta y la demanda energética.

**Objetivo 5: Acoger novedosas tecnologías para el empleo eficaz de recursos energéticos.** Se enfoca en encaminar al sector energético a la modernización e implementación de tecnología que permita una producción más limpia y eficiente en vía a la reducción de costos y la competitividad en el mercado.

**Objetivo 6: Promover el mercado internacional y generar un cambio hacia una economía circular.** Esta meta se propone con miras a lograr dos metas más: primero es que el mercado energético colombiano efectúe conforme con condiciones de reto, de tal manera que los valores de los energéticos no acoten el desarrollo nacional, así poder facilitar la colaboración de nuevos actores y se fomente el cambio y el acogimiento de nuevas tecnologías. La segunda es que se cambie una transición en torno a una economía circular, que se caracterice por el empleo eficaz de los inputs de producción y una reducción de los residuos.

**Objetivo 7: Continuar en la transformación digital y empleo de datos en el grupo energético.** Se busca digitalizar el sector energético mediante la transformación digital para obtener la optimización y automatización de los procesos.

**Objetivo 8: Impulsar el estudio, análisis y constante avance y fortalecer las técnicas de la mano de obra.** Lo que busca este objetivo es fortalecer al capital humano de forma que la respuesta a las nuevas tecnologías sea positiva y permita aumentar los conocimientos y las





capacidades en el ámbito de ciencias y tecnología, así como el aumento de los recursos de inversión para generar soluciones acordes

## **PAI-PROURE 2022-2030**

El PROURE es un lineamiento que promueve el uso regulado de los principios básicos necesarios en la producción energética de un país, regulando su implementación desde su producción hasta su destino final en cada uno de los procesos en los cuales son empleados. Además de esto el PROURE fija metas de ahorro de energía, acciones y medidas para alcanzar los objetivos propuestos durante el periodo donde se establecen.

Este programa desde su creación se ha implementado tres veces, siendo el primero el que se desarrolló en el periodo comprendido del 2010-2015, debido a su eficiencia surgió el segundo el cual fue desarrollado del 2017-2022 y el tercero el cual comprende el periodo del 2022-2030 como su tercera versión. Este programa se enfoca en el análisis del costo-beneficio y priorización de la eficiencia energética, teniendo en cuenta tres niveles como se expone en este programa (PROURE, 2022, p. 35).

- En cuanto al beneficio costo privado, se analiza el costo-beneficio del usuario y las inversiones que estos usuarios deben realizar para la correcta promoción de la eficiencia energética en cualquier sector que sea beneficiado.
- El beneficio costo sistémico es el segundo aspecto a analizar, pues en él se busca encontrar la forma más adecuada de resolver problemas complejos como lo puede





ser los impactos negativos que provoca la implementación de servicios energéticos no regulados.

- En este nivel se analiza el beneficio a nivel social y cuál es el impacto que generan las políticas que se promueven para la regularización de la energía eléctrica eficiente.

Además de analizar el costo-beneficio para así poder determinar las metas este programa plantea ciertos objetivos que se relacionan con las metas que tienen propuestas para cada periodo:

1. **Actualizar** las medidas energéticas en los sectores de consumo, sin dejar de lado la constante puesta en marcha de equipos, maquinaria y estrategias nuevas en este sector.
2. **Integrar** correcciones o modificaciones en lo que respecta a las etapas por las cuales deben pasar los combustibles fósiles para su implementación en la generación de energía.
3. **Establecer** metas más realistas teniendo en cuenta la evaluación costo-efectividad.
4. **Identificar** qué acciones pueden tener incentivos tributarios.
5. **Proponer** acciones que correspondan a las metas que se establezcan.

**Industria termoeléctrica:** Lo que se plantea mediante este programa es que la reducción del potencial de consumo de energía sea de 25 petajoules para el periodo comprendido entre 2022-2030. Teniendo en cuenta que cuando se realizan prácticas operativas adecuadas desde su



inicio hasta su final se ve reflejado en un ahorro de 11 Petajoules, en tanto al cambio en el ámbito tecnológico se genera un ahorro de 14 Petajoules.

**Sector minero:** Cuando se reduce el consumo energético se obtiene un total de 11 Petajoules para el periodo 2022-2030. Lo que nos lleva a que el factor más importante para el ahorro de potencial energético es el avance tecnológico.

**Zonas térmicas y depósitos de energía:** Al analizar las zonas térmicas y los depósitos de energía haciendo uso de la eficiencia energética se logró la reducción de alrededor de 0.35 Petajoules para las zonas térmicas y 1.02 Petajoules para los depósitos de energía.

### **Balance de Energía Útil para Colombia (BEU)**

El BEU para Colombia se encarga de cuantificar y analizar el comportamiento de la energía empleada en los diferentes sectores, obteniendo de esta forma que tan ineficiente puede ser debido a la falta de tecnología, el manejo inadecuado en los procesos y la muy poca variedad de la matriz energética.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)

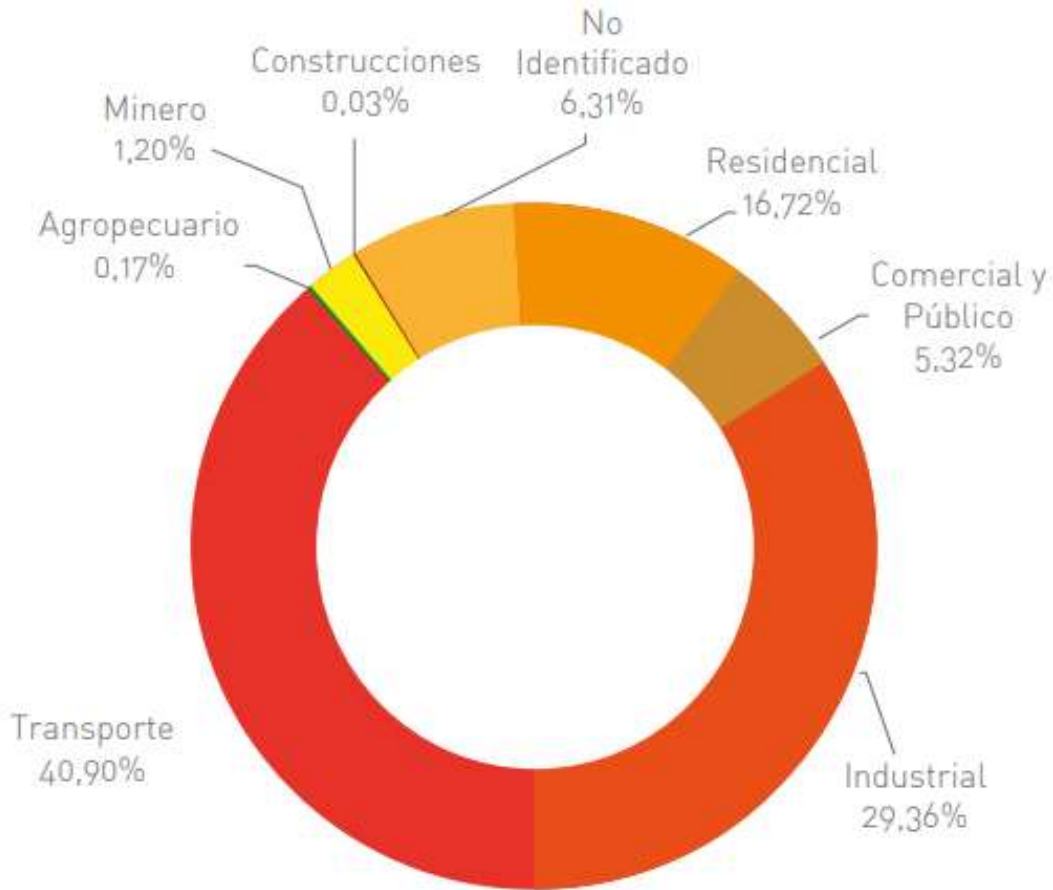


Imagen 19. Distribución de Consumo de Energía Final. Colombia - 2015. PROURE 2017-2022

Los sectores que fueron analizados para poder realizar el balance fueron el sector comercial y público, industrial, residencial y transporte los cuales predominaban en los estudios realizados por el PROURE como se puede evidenciar en la ilustración 2. Los datos se obtuvieron del Balance Energético Colombiano 2015 (BECO) y el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE 2017-2022), entre otros, los cuales permitieron conocer aspectos importantes como la ineficiencia de cada sector y las pérdidas económicas que se le relacionan.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
www.unipamplona.edu.co



Como resultado, se obtiene que la energía útil en Colombia es del 31%, la ineficiencia en el consumo es del 67%, lo que nos lleva a la conclusión que el país debe pagar entre 6.600 y 11.000 millones de USD al año. Teniendo en cuenta estos datos la Agencia Internacional de Energía (IEA) predice que es la motivación para un cambio en el sistema energético hacia uno globalmente sostenible.

### **Proyecto de Eficiencia Energética en la Industria Colombiana 2016-2019**

El EEI Colombia tiene como objetivo principal impulsar la eficiencia energética en el mercado, esto a través de ciertos componentes como lo son la implementación de normas y reglamentos, Sistemas de Gestión de la Energía (SGEn), optimización de sistemas de uso final de energía y esquemas para el avance en proyectos de eficiencia energética.

### **Programa de Evaluación Industrial PEVI 2018-2022.**

El Programa de Evaluación Industrial PEVI le corresponde identificar y promover las opciones más convenientes en cuanto a la mejora del desempeño energético en los productores colombianos, esto mediante la creación y operación de lugares estratégicos como universidades regionales donde se fortalecerán de forma académica y práctica.

El PEVI surgió como la continuación del éxito que tuvo el EEI Colombia, pero para que este proyecto se estableciera fue necesario realizar dos fases piloto las cuales fueron ejecutadas en el 2018 y 2019. Estas fases generaron los recursos necesarios para instaurar y comprobar los



SC-CER96940

*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



instrumentos, los esquemas y los métodos, para poder realizar el trabajo propuesto tanto con universidades como con industrias regionales.

Dentro de los objetivos del PEVI como se muestra en (PEVI, 2020, p. 4) se tiene que:

1. Se realiza un estudio y valoración de inconformidades que se presentan en la industria involucrada, para que de esta forma sirva como alusión a un nuevo sistema energético.
2. Instruir acerca de la finalidad y aprovechamiento de los sistemas de energía.
3. Reconocer las acciones que llevarán a un buen desempeño energético en el ámbito industrial, para de esta forma poder medir el beneficio de su implementación.

En conclusión, el PEVI permite:

- I. Consolidar las posibilidades de las universidades en el desarrollo técnico hacia la eficiencia de la energía.
- II. Suministrar de la forma más clara y precisa a estudiantes y empleados de las industrias el sistema de gestión energética.
- III. Promueve el uso eficaz de las herramientas de análisis y reconocimiento de las mejores opciones en cuanto a la eficiencia energética.
- IV. Fomentar la relación entre universidad-empresa-estado, para de esta forma generar ventajas en la gestión energética.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
www.unipamplona.edu.co



Para afianzar a futuro este proyecto, se planteó la fundación de centros o institutos para la valoración industrial, promoviendo el fortalecimiento de la ejecución y administración encaminado al reconocimiento y promoción de los posibles avances en la eficiencia energética para las industrias de su zona de influencia.



SC-CER96940

*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



## Normativa Nacional E Internacional Que Rigen Las Termoeléctricas.

Para comenzar se debe tener claro que una termoeléctrica es una construcción en la cual se obtiene energía eléctrica, el proceso comienza desde el momento en el que el agua es evaporada por la acción de la quema del combustible fósil que sea empleado, luego de ello este vapor es llevado a las turbinas donde se expande generando el movimiento de los álabes. En estas centrales generadoras de energía los combustibles fósiles son los encargados de la transformación del agua, lo que nos lleva a que una termoeléctrica se constituye inicialmente de una caldera junto de una turbina y a su vez hace mover el generador eléctrico. La caldera es la parte principal ya que en esta se realiza la incineración de los combustibles utilizados.

Este proceso ofrece varios beneficios para la humanidad, pero se debe tener en cuenta el valor ecológico y de salud pública que conllevan, ya que la implementación del carbón como combustible en estos procesos representan un gran impacto a la salud de las personas y ecosistemas que se ven involucrados por su presencia, sobre todo poblaciones de bajos recursos y vulnerables; estos peligros se acrecientan si las técnicas no cumplen con los requisitos específicos y tienden a la baja eficiencia en el manejo de emisiones.

Los contaminantes generados por el carbón en cada uno de los ciclos por los que tiene que pasar afectan en gran manera a los seres humanos, generando estragos principalmente al sistema respiratorio, sistema digestivo, el sistema urinario y el aparato cardiovascular, generando enfermedades cardíacas, aumentando la probabilidad de contraer cáncer, incrementando el riesgo



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



de infartos, los accidentes cerebrovasculares, enfermedades respiratorias, entre otras consecuencias.

El principal efecto que tiene la producción térmica a nivel ecológico está dada por la emisión de contaminantes atmosféricos, por ende depende principalmente de los combustibles que se usen, dentro de los principales contaminantes producidos en las centrales termoeléctricas se encuentra todo lo que corresponde al material particulado, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> además de metales pesados tal como el mercurio, vanadio y níquel; de igual forma, las emisiones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> son los principales generadores de HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en la atmósfera.

El NO<sub>x</sub> es el contaminante más frecuente si se realiza la implementación de gas como combustible fósil en las centrales termoeléctricas; en el que respecta a la implementación del petróleo y los carbones, son precursores en la generación de los contaminantes previamente expuestos.

Es necesario tener en cuenta que de los impactos ambientales más fuertes que se generan en las termoeléctricas con base a carbón, es que para el descenso de la temperatura del vapor que es emitido de las turbinas se emplea altas cantidades de agua que cuando retorna, lo hace con temperaturas mayores difiriendo con la que fue captada, lo que nos lleva a determinar el gran efecto que genera en el sector donde es destinada el agua de enfriamiento.

De acuerdo a lo anterior ¿cuáles son las normas que las termoeléctricas deben seguir para su correcto funcionamiento?



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*  
Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



Para empezar como se enuncia en La Constitución Política de Colombia (1991), en los siguientes artículos:

“Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 80. El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.”

Con respecto a la política que promueve la producción limpia, la cual está dirigida hacia el sector energético, lo que se quiere impulsar es el empleo de energías más “limpias” ejemplo el gas, la innovación del hidrógeno como combustible y la activación de fuentes de energía renovables como los procesos a partir de energía solar y eólica. Esto permitirá priorizar además de regular las emisiones atmosféricas producto de los procesos de quema junto al adecuado uso de los residuos sólidos generados por plantas termoeléctricas.

Para dar respuesta a esto, el gobierno nacional da a conocer el Decreto 1333 DE 1994 por medio de este se regula el artículo 45 de la Ley 99 de 1993, este se adapta a las empresas que sean



*“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
www.unipamplona.edu.co



de tipo público, privada o mixtas, dueños de plantas de producción de energía hidroeléctrica como termoeléctrica, cuya potencia representativa instalada sea mayor a 10.000 kw.

Por otro lado, el Ministerio de Minas y Energía (**Minminas**) junto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (**MADS**) presentan el Decreto 644 del 16 de junio de 2021, donde por medio de este se reemplazan los artículos 2.2.9.2.1.4. y 2.2.9.2.1.5., se adiciona un párrafo al artículo 2.2.9.2.1.3. además, se aumenta el artículo 2.2.9.2.1.8.A. del Decreto 1076 de 2015, para los páramos del territorio que podrían ser afectados por la contaminación causada por las centrales termoeléctricas, donde

Los principales aspectos ambientales de la constitución respecto a las consecuencias generadas por las centrales termoeléctricas que se deben tener en cuenta son: Artículo 8 sobre la responsabilidad del estado y de las personas de proteger las riquezas naturales y culturales de la nación, Artículo 49 Sobre la obligación del estado donde se garantice la salud además del saneamiento ambiental, Artículo 58 Sobre la propiedad privada: donde la función social y obligaciones inherentes, función ecológica, Artículo 95 donde habla del deber que tienen los colombianos con la protección de los recursos naturales. Artículo 215 en donde estipula el estado de emergencia cuando existan hechos que perturben de manera grave, entre otros, el orden ecológico del país.

Otras leyes que se deben tener en cuenta dentro del orden nacional relacionado a las termoeléctricas son: la Ley 23 de 1973, La Ley 2811 de 1974, Ley 09 de 1979 y la Ley 99 de 1993





las cuales se encargan de la administración y mantenimiento del medio ambiente y la riqueza natural fundamental para la vida.

Así mismo a fin de motivar el uso eficiente de la energía, en el 2014 se expidió la Ley 1715 de 2014, el cual promueve el desarrollo y la implementación de fuentes no convencionales al Sistema Energético Nacional, principalmente las fuentes renovales, esto con el fin de encaminar hacia el desarrollo sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la seguridad del abastecimiento energético.

Por medio de esta ley, el gobierno estableció incentivos que motivan a los involucrados a implementar nuevos equipos, maquinaria y utilizar energía a partir de fuentes no convencionales que sean más amigables con el medio ambiente.

Esta ley desarrolla 10 capítulos donde se establecen disposiciones para generar energía, se promueve el aumento de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR), los impulsos hacia la eliminación de las barreras técnicas, administrativas y de mercado para el desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR) y la gestión de la eficiente de la energía.

En cuanto a los incentivos que se tratan en el Capítulo III, donde se promueve principalmente a la inversión en proyectos de energía a partir de fuentes no convencionales, tenemos cuatro artículos que proporcionar ventajas a la implementación de estos





**Art. 11. Estímulo para la promoción de energía a base de fuentes no convencionales.** Se tendrá derecho a disminuir su renta por los 5 años posteriores a la inversión realizada. Este valor no superará el 50% del valor del gasto de capital realizado.

**Art. 12. Herramientas para la generación de las FNCE.** La promoción del uso de energía a partir de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable se excluirán del IVA a máquinas, aparatos, instrumentos y servicios nacionales o internacionales donde las FNCE sean implementadas.

**Art. 13. Instrumentos para la generación y administración de las FNCE.** Serán beneficiadas las personas que sean poseedoras de proyectos que involucren la implementación de FNCE, esto quiere decir que serán exentos del pago de los Derechos Arancelarios de Importación en todo lo que respecta a máquinas, aparatos, instrumentos e insumos dirigidos a proyectos donde se utilicen las FNCE.

**Art. 14. Herramientas hacia la generación y administración de las FNCE por medio de los incentivos tributarios.** Al implementar y hacer parte de proyectos que estén enfocados en la utilización de las FNCE, se les permitirá ser beneficiarios de acciones que busquen el equilibrio entre la parte tributaria y financiera de las empresas, como lo es el régimen de depreciación acelerada en sus activos.

Por otro lado, cabe mencionar la importancia de la normatividad determinada a nivel internacional, en Argentina las centrales termoeléctricas se rigen por la Resolución 108 / 2001 de





la Secretaría de Energía y Minería (SEM), en Australia "Protección of the Environment Operations General Regulation 1998". En Brasil La Resolución del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) N° 08 del 6 de diciembre de 1990 y en Canadá la “New Source Emission Guidelines for Thermal Electricity Generation” del 4 de enero de 2003.

Para concluir se debe destacar la importancia que los gobiernos a nivel internacional le dan a esta industria, ya que la contaminación causada por las centrales termoeléctricas afectan el aire de todos los ciudadanos y puede generar enfermedades y epidemias si no se lleva a cabo el cumplimiento de la norma, el uso de tecnologías que garanticen y proporcionen seguridad y un buen proceso de creación de energía, además del cumplimiento en el rol que tiene esta industria con el compromiso de reforestar las zonas afectadas por la extracción de los combustibles fósiles que se requieren para el proceso eléctrico.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*  
Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



## Avances y Nuevas Técnicas en los Procesos a Partir de las Termoeléctricas

Para la actualidad dentro de la sociedad lo que se busca a nivel en general y no solo desde el punto de las termoeléctricas, es la disminución de las emisiones de GEI que se presentan a nivel mundial para jugar en pro del medio ambiente, por este motivo los avances que se logren conseguir dentro de las termoeléctricas conforme a su funcionamiento son a favor del medio ambiente y estas sigan brindando su funcionalidad.

Por ahora lo que se busca es cambiar los combustibles fósiles usados dentro de las termoeléctricas por elementos que minimicen las emisiones de dióxido de carbono, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, metales pesados, entre otros. En Noruega existen científicos que dicen haber logrado sustituir el gas (combustible fósil), por hidrógeno sin la necesidad de tener que alterar lo que es la infraestructura con la que están actualmente funcionando. El hidrógeno sería un buen sustituto debido a que no genera emisiones que sean de alguna manera nocivas o tóxicas cuando se emplee para producir energía. (Assadi M. 2022) investigador de la Universidad de Stavanger afirma que “Hemos establecido un récord mundial de combustión de hidrógeno en microturbinas de gas. Nadie había sido capaz de producir a este nivel” de esta manera el problema se rebaja a que el hidrógeno no tendrá la misma producción energética que la que produce el gas, pero el gran avance será la baja contaminación debido a las emisiones no nocivas del hidrógeno. Por otra parte, se está afirmando que la Universidad de Stavanger está haciendo uso de una micro planta con la cual funciona toda la universidad con respecto a la electricidad, calefacción y agua caliente



*“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



sin contar que el excedente de electricidad se despliega hacia los alrededores. Otro problema que se presenta en la utilización del hidrógeno es hacerlo competitivo con respecto a otros orígenes de energía sostenible, ya que para la producción de hidrógeno es necesaria la utilización de recursos como el agua y los combustibles fósiles para la separación de los átomos de hidrógeno y oxígeno y para este caso es que ya se quiere es la no utilización de los combustibles fósiles, entonces se está trabajando en el uso de nuevos catalizadores que ayudan a romper la molécula de agua como ejemplo el níquel o cobalto para la producción de hidrógeno lo cual lograra que las diferentes tecnologías se vayan aplicando al uso del hidrógeno y a un bajo coste.

Otro método que se quiere utilizar y justamente en el aprovechamiento de recursos ecológicos es la energía termosolar que trata de utilizar la radiación solar, donde esta energía sea receptada por medio de espejos. Se pretende que los espejos tienen la capacidad de orientarse de acuerdo a la posición del sol durante el día y de esta manera los elementos utilizados como receptores puedan alcanzar temperaturas lo suficientemente elevadas para que se transmitan a través del fluido que se encuentran en el interior de los receptores y así de esta manera se genere vapor para poder generar vapor que mueva la turbina para producir energía. Para esta clase de técnicas de obtención de energía termosolar se conocen procesos como el uso de colectores tipo parabólicos que calienten los fluidos hasta los  $400^{\circ}\text{C}$ , que lograra generar vapor de manera que accione la turbina, por otra parte, también se utilizan tanques de almacenamiento de sales las cuales pueden ser de sodio o potasio, que no son tóxicas, estas tienen un punto fusión de  $245^{\circ}\text{C}$  que son sistemas perfectos para su empleo de calor generado por tecnología termosolar.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



Las cenizas son el producto de uno de la combustión de los combustibles fósiles dentro de las termoeléctricas, este producto es muy utilizado en diversos campos de la ingeniería civil y las aplicaciones de este se pueden ver de manera aglomerada o en bruto. Algunas de las aplicaciones obtenidas a partir de la ceniza ya están establecidas y en el momento se hacen de práctica y uso común como ejemplos aditivos para el cemento, fabricación de materiales refractarios, fabricación de ladrillos, material para rellenos en minerías. De esta manera se le da un buen uso este material que si no se le da un buen uso o disposición pueden terminar siendo material contaminante producto de escorrentías entre otros.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*  
Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



## ¿Por Qué Seguir Haciendo Uso de las Termoeléctricas?

La energía generada por termoeléctricas como se ha visto es una de las más utilizadas, de esta manera así tenga un gran impacto ambiental gracias a su sencillez en práctica ha sido utilizada a través del tiempo por varios países y en diferentes regiones del planeta. El uso de este tipo de energía se ve como una alternativa para aquellos que quieren producir una electricidad propia y que al mismo tiempo no tengan acceso a otras fuentes o combustibles con que producir energía entonces de esta manera no tienen que depender de regiones aledañas u otros países. Entonces así esto permite a las regiones tener una soberanía sobre su electricidad y así decidir cómo organizar su sistema sin tener que depender de terceros, esto es importante ya que facilita el desarrollo de la región especialmente haciendo que esta crezca económicamente e incluso pueden ser prestadoras o en tal caso vender el servicio de energía a los sectores aledaños de la región.

Ahora pues como se conoce, producir algo siempre tendrá costos para su desarrollo y de alguna manera lo que se busca es que las fuentes de producción sean económicas sin tener que disminuir la eficiencia de sus técnicas. Por eso las centrales termoeléctricas tienen como ventaja que estas se pueden edificar en el lugar donde se va a consumir la electricidad esto implica una gran reducción en los costos, debido a que las líneas de transmisión y las torres tendrán costos más bajos debido a su construcción, de igual manera se reducen los tramos y costes de transporte porque como se mencionó anteriormente la electricidad se puede generar sin necesidad de desplazarla o adquirirla desde otras regiones aledañas.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



Otro factor importante a tener en cuenta en la producción de energía es el método de construcción, eficiencia y rapidez. Las termoeléctricas difieren de otras centrales eléctricas en que la construcción de la edificación es más rápida que permite obtener el acceso a la electricidad en tiempos cortos y cubrir de manera más rápida la demanda que necesiten los diferentes usuarios de la región, cabe resaltar que la construcción de este tipo de centrales eléctricas es de menor costo a diferencia de otras, ahorrando costos en cuanto a la construcción de estas edificaciones a las distintas compañías.

Para regiones que tienden a ser secas, un gran beneficio con las termoeléctricas es que no necesitan de cantidades considerables de agua, de esta manera no dependen netamente del clima, con esto las termoeléctricas consiguen hacer determinante algo que para otro tipo de centrales eléctricas es una variable aleatoria. Por otra parte, el otro elemento base en este caso los combustibles son de fácil transporte desde su lugar de extracción hasta la central térmica.

Uno de los combustibles utilizados en las termoeléctricas como lo es el gas, por una parte, al generar menor contaminación es más seguro que otros combustibles, y al producirse una fuga al tener como característica ser más ligero que el aire, sale rápidamente de los centros de almacenamiento, de esta manera se garantiza una mayor seguridad para el personal de tratamiento y ejecución haciendo de esto que se vuelva una gran ventaja. Cabe resaltar que, en relación a los costos, en una central de tipo combinado, será menor de un 50% con respecto a una planta de carbón contando que este sea de carácter importado.





## Conclusiones

Es evidente que las termoeléctricas tienen un gran impacto ambiental a causa de los gases expedidos por la combustión de combustibles fósiles, pero existen métodos y tecnologías que se pueden aplicar dentro de estas para que su funcionamiento siga teniendo la misma eficiencia, de tal manera que, aunque las nuevas técnicas y tecnologías usadas aumenten los costes en la industria de las termoeléctricas, estas puedan ser más amigables con el medio ambiente.

Ya que en algunas regiones del planeta debido a la escasez de algunos combustibles tanto renovables como no renovables las termoeléctricas deben ser esenciales, estas regiones deberán ser promotoras en la búsqueda de nuevas tecnologías y uso de nuevos materiales como combustibles para su funcionalidad y así ratificar su soberanía energética e incluso sean pioneros a otros países o estados generando conciencia en el cuidado y la gravedad de los problemas que puede traer en el medio ambiente el mal funcionamiento de este tipo de industrias.

Las termoeléctricas son una de las mayores productoras de energía eléctrica a nivel mundial, incrementando potencialmente la intranquilidad y angustia hacia el deterioro constante del medio ambiente lo cual ha generado la creación de nuevas políticas medioambientales en lo que respecta a la rigurización en la emisión de gases nocivos producidos durante la incineración de los combustibles fósiles e incluso la misma ubicación de este tipo de centrales eléctricas para que no se vea afectada la integridad ni la salud de los involucrados, de la misma manera el cuidado del medio ambiente.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



Las diferentes sociedades a nivel mundial deben tener total conocimiento que debe estar en la capacidad de asumir los nuevos costos debido al mejoramiento producto de las nuevas técnicas en compensación a las acciones asumidas a fin de la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, un efecto negativo que afecta a la población mundial. Que se tome en cuenta que son acciones necesarias a un punto de crear actos que judicialicen a aquellos que incumplan las normas de tal manera que la energía eléctrica producida se vea desde un punto de eficacia, pero por encima de todo como un acto de sostenibilidad para el planeta.

Finalmente, y teniendo en cuenta que el sector energético es fundamental y de los más empleados para el avance industrial y económico de un país, es justo y necesario que este sector se encuentre respaldado por los gobiernos y no solo para que sea vigilado, sino para que sea incentivado hacia un camino de mejoría dentro del ámbito tecnológico y ambiental. De esta forma los pequeños actos que se realicen ahora, les permitirán a las nuevas generaciones contar con más posibilidades de tener un mejor entorno con menos problemas y más soluciones.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*

Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



## Referencias Bibliográficas

- <sup>1</sup>[El orden mundial. \(5 de agosto de 2021\). El mapa de las centrales de carbón en el mundo.](https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/mapa-centrales-carbon-mundo/)
- <sup>2</sup>CarbonBrief Clear on Climate. (26 de marzo de 2020) Mapeado: las centrales eléctricas de carbón del mundo. <https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-coal-power-plants/>
- <sup>3</sup>Hro, I. & Osculllo, J. (2016). Factor Anual de Emisión de CO<sub>2</sub> Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, Mediante la Aplicación de la Metodología de la Convención Marco Sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el Periodo 2009-2014
- <sup>4</sup>EPA. (2022). Emisiones de dióxido de carbono. 2022, noviembre 25, de agencia de protección ambiental de los estados unidos. Sitio web: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono#CO2-references>
- <sup>5</sup>Da Silva, José, Ferreira, Armando, Neira, Ana, Matas, Guillermo, & Brandt, Mariela. (2008). Alternativas de generación termoeléctrica utilizando el coque de petróleo como fuente de energía. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23(4), 81-92. Recuperado en 28 de noviembre de 2022, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652008000400008&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000400008&lng=es&tlng=es).



<sup>6</sup>Exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbón y salud infantil: ¿Cuál es la evidencia internacional y nacional? Rev. chil. pediatr. vol.90 no.1 Santiago Cortes, S (2019)- <http://dx.doi.org/10.32641/rchped.v90i1.748>

<sup>7</sup>Health and Environment Alliance (HEAL). Boosting health by improving air quality in the Balkans. Diciembre 2017. [https://www.env-health.org/IMG/pdf/13.12.2017\\_-\\_boosting\\_health\\_by\\_improving\\_air\\_quality\\_in\\_the\\_balkans\\_ied\\_briefing.pdf](https://www.env-health.org/IMG/pdf/13.12.2017_-_boosting_health_by_improving_air_quality_in_the_balkans_ied_briefing.pdf).

<sup>8</sup>Análisis de normas de emisión para centrales termoeléctricas a nivel internacional Willumsen, H (2006).

[https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2014/proyectos/Folio\\_N\\_\\_441-1055.pdf](https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2014/proyectos/Folio_N__441-1055.pdf)

<sup>9</sup>Guía ambiental para termoeléctricas y procesos de cogeneración parte aire y ruido Ministerio de Ambiente- SENA (2015).

[https://www1.upme.gov.co/siame/Guiasambientales/Termoelectricas\\_procesos\\_cogeneracion.pdf](https://www1.upme.gov.co/siame/Guiasambientales/Termoelectricas_procesos_cogeneracion.pdf)

<sup>10</sup>DECRETO 1933 de 1994- Ley 99 de 1993. Constitución Nacional de la república de Colombia.

[https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema\\_Gestion\\_de\\_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad\\_Gnl/Decreto%201933%20de%201994-Ago-05.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Decreto%201933%20de%201994-Ago-05.pdf)



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*  
Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



- <sup>11</sup>Energía y Minería en Castilla y León. El recorrido de la energía en Castilla y León.  
<https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/recorrido-energia-castilla-leon.html>
- <sup>12</sup>Romero Salvador Arturo. (2010) Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. (Esp), Vol. 104, N°. 2, pp 331-345.
- <sup>13</sup>Fernández D., Robles R. (2017). Centrales de Generación de Energía Eléctrica. 30 noviembre 2022, de Sitio web:  
<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1160/course/section/1407/bloque-energia-IV.pdf>
- <sup>14</sup>Ministerio de Minas y Energía (2022) Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE) [archivo PDF]. Recuperado de  
[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento\\_PROURE\\_2022-2030\\_v4.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento_PROURE_2022-2030_v4.pdf)
- <sup>15</sup>Ministerio de Minas y Energía (2022) Plan Energético Nacional (PEN) 2020-2050: La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible [archivo PDF]. Recuperado de  
[https://www.eltiempo.com/uploads/files/2021/09/23/Plan\\_Energetico\\_Nacional\\_2020\\_2050.pdf](https://www.eltiempo.com/uploads/files/2021/09/23/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf)



- <sup>16</sup>Ministerio de Minas y Energía (2020) Programa de Evaluación Industrial PEVI Colombia. Guía para la implementación de centros PEVI. [archivo PDF]. Recuperado de [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Guia\\_PEVI.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Guia_PEVI.pdf)
- <sup>17</sup>Ley No. 1715 de 2014 [Congreso de Colombia]. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. 13 de mayo de 2014.
- <sup>18</sup>Silva, I. (2020). TECNOLOGÍAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN. 2022, Diciembre 3 , de Pontificia Universidad Católica. Sitio web: <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno10/mitigacion/SO2.html>
- <sup>19</sup>Ortiz, C. (2021). ¿Cómo podemos capturar CO<sub>2</sub> para mitigar el cambio climático?. 2022, Diciembre 3 , de The Conversation. Sitio web: <https://theconversation.com/como-podemos-capturar-co-para-mitigar-el-cambio-climatico-162280#:~:text=El%20CO%E2%82%82%20emitido%20a%20la,33%20500%20millones%20de%20toneladas.>
- <sup>20</sup>Hill, B & Baum, E.. (2001). Emisiones de azufre y centrales eléctricas del Medio Oeste. 2022, Diciembre 3 , de Clean Air Task Force. Sitio web: <https://theconversation.com/como-podemos-capturar-co-para-mitigar-el-cambio-climatico-162280#:~:text=El%20CO%E2%82%82%20emitido%20a%20la,33%20500%20millones%20de%20toneladas.>





- <sup>21</sup>OMS. (2017). El mercurio y la salud. 2022, Diciembre 3 , de Organización Mundial de la Salud. Sitio web: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
- <sup>22</sup>Alcalá, A.. (2011). Adaptación de Centrales Térmicas de Carbón al proceso de Oxidación. 2022, Diciembre 3 , de Adrián Alcalá Carrasco.
- <sup>23</sup>Kardoudi, O.. (2022). La tecnología que puede salvar las centrales térmicas usando hidrógeno. 2022, Diciembre 3 , de El Confidencial. Sitio web: [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2022-06-22/turbina-sustituye-gas-hidrogeno-energia-verde\\_3447522/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2022-06-22/turbina-sustituye-gas-hidrogeno-energia-verde_3447522/)
- <sup>24</sup>Structuralia, B. (2018). ¿Conoces las diferentes tecnologías termoeléctricas por concentración?. 2022, Diciembre 3 , de Structuralia. Sitio web: <https://blog.structuralia.com/tecnologias-solares-termoelectricas>
- <sup>25</sup>Mint. (2022). VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA TERMOELÉCTRICA: ¿CUÁLES SON?. 2022, Diciembre 3 , de Mint. Sitio web: <https://mintforpeople.com/>
- <sup>26</sup>Silva, R.. (2020). VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA TERMOELÉCTRICA: ¿CUÁLES SON?. 2022, Diciembre 3 , de PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE. Sitio web: [https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno03/thermo/Web\\_mercados.htm](https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno03/thermo/Web_mercados.htm)



27. Tesis (Ingeniero Químico), Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería El Politécnico; Quito, Ecuador; julio, 2009.



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*  
Universidad de Pamplona  
Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)