

# DETERMINACIÓN DE GAS CARBÓNICO EN UNA REFINERÍA DE PETRÓLEO BAJO ESCENARIOS PREESTABLECIDOS UTILIZANDO UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

## Determination of carbon gas in an oil refinery under pre scenario using a computational tool.

Yelixe Acevedo<sup>1</sup>, Zulay Niño<sup>(2)</sup> y Alejandro Ramos<sup>(3)</sup>

<sup>(1,2)</sup> UC - Naguanagua, Carabobo. Venezuela. yelixe@gmail.com

<sup>(3)</sup>PDVSA – Puerto Cabello, Carabobo. Venezuela

Recibido: 06-03-14 / Aceptado: 17-04-14

### RESUMEN

Esta investigación aporta elementos que sirven de base en la toma de decisiones para minimizar los efectos del cambio climático, sobre el ambiente y la humanidad. Se plantea determinar el gas carbónico en una refinería de petróleo, normalizando y estandarizando los métodos de trabajo para obtener proyecciones futuras y poder tomar decisiones orientadas al logro de una mayor calidad en el aire que se respira en la industria estudiada, obteniendo una huella de carbono, lo que redundara en beneficios ambientales para los residentes de la zona en estudio, al mismo tiempo que asegurara a las generaciones futuras el acceso a los recursos que garanticen soporte a la salud, prosperidad y nivel de vida acorde a las aspiraciones sociales. Para ello se debe desarrollar un modelo que permita la cuantificación y validación del CO<sub>2</sub> producido; Obteniendo como resultado final la estimación y análisis del producto de la combustión (CO<sub>2</sub>) emitidos por el proceso de la industria, en su entorno inmediato y sobre los receptores sensibles ubicados dentro del área de influencia.

**Palabras clave:** cambio climático, gas carbónico y refinery.

### SUMMARY

This research will provide elements as a basis for decision making to minimize the effects of climate change on the environment and humanity. It is proposed to determine carbon dioxide in an oil refinery, normalizing and standardizing working methods for future projections and to take aimed at achieving higher quality decisions in the air we breathe in industry study, which will result in environmental benefits for residents of the study area, while future generations will ensure access to support resources to ensure the health, prosperity and standard

of living according to the social aspirations. To do this develop studied a model that allows quantification and validation of the CO<sub>2</sub> produced from available regulatory standards; getting the end result estimation and analysis of the contribution influence gas (CO<sub>2</sub>) emitted by the process industry, in their immediate environment and sensitive receptors located within the area of influence.

**Keywords:** climate change, carbon dioxide and refinery,

## **INTRODUCCIÓN**

En la práctica se habla de calentamiento global para referirse al calentamiento observado durante las últimas décadas. La temperatura se ha elevado desde finales del siglo XIX debido a la actividad humana, principalmente por las emisiones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorocarburos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>), que incrementan el efecto invernadero (Cordère, 2010). Los modelos de simulación climática predicen que las temperaturas continuarán subiendo en el futuro si prosiguen las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2008). Es necesario enfatizar que el calentamiento global y el efecto invernadero no son sinónimos, más bien se cree que el efecto invernadero sería la causa del calentamiento global observado. El efecto invernadero puede ser considerado como el efecto natural que ocurre normalmente en la tierra o bien como el efecto implicado que resulta de la emisión de gases como consecuencia de la actividad humana (Cordère, 2010).

Por lo tanto, se planteó la necesidad de realizar un plan piloto desarrollando un modelo de gestión de gas carbónico para una nueva gerencia ambiental, recomendando así, técnicas que mejoren el desempeño de la empresa; mitigando las emisiones de gases de efecto invernadero, específicamente CO<sub>2</sub>; obteniendo beneficios económicos, sociales, ambientales y por ende mejorando la calidad de vida. Entre las industrias petroleras de Venezuela, se tomó como base de investigación la Refinería El Palito, ubicada en las costas del Estado Carabobo, perteneciente al municipio Juan José Mora, la cual actualmente procesa un promedio de 140 mil barriles de crudo por día (PDVSA, 2012). Este complejo de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), se encarga del suministro de combustible para el

centro occidente del país. Con miras a aumentar su capacidad por el desarrollo de nuevos proyectos de expansión (2012-2016).

Venezuela se suscribió al protocolo de Kioto con la finalidad de implantar políticas y planes de acción que permitan reducir las emisiones de origen humano de los gases de efecto invernadero (GEI), aunque no pertenece al grupo de los países del denominado Annex I, denominación que se le da a los países que deben reducir sus emisiones de gases con efecto invernadero en un promedio del 5,2 por ciento por debajo de sus emisiones en 1990, para el periodo 2008-2012; está ubicada en el 0,1 por ciento, estos niveles comparados con los de USA, China, Rusia, Japón, India, Alemania, Brasil y México, son insignificantes por lo que no es requerido reducir, pero si es necesario aplicar estrategias que limiten la generación de emisiones de los gases de efecto invernadero (IPCC, 2008).

## **METODOLOGÍA**

La población de referencia en este estudio agrupó las refinerías de petróleo del país, de esta población, se tomó una muestra intencional, conformada por la refinería El Palito, en la zona de costera del estado Carabobo.

La cuantificación y validación de los gases de CO<sub>2</sub> en la zona de estudio, se basó en escenarios de peligros ambientales preestablecidos por Acevedo y Niño (2013): catastróficos y no catastróficos, en donde se utilizaron datos de la actividad (como consumo, datos de producción, datos del gas, entre otros).

Acevedo y Niño (2012) encontraron que el CO<sub>2</sub> a temperatura y presiones diferentes se comporta de forma similar a lo observado a temperaturas y presiones normalizadas a temperaturas y presiones críticas. La emisión total de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se estimó usando ecuaciones empíricas documentada en la literatura especializada en esta área temática por Cergel (2006), luego se estimó la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de los distintos tipo de suelo en la zona de estudio, seguido se relacionó la emisión total de

CO<sub>2</sub> con la capacidad de absorción de dicha zona, resultando en la subhuella de absorción de CO<sub>2</sub>.

### **Determinación de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el consumo de combustible.**

Para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por el consumo de gas combustible, se calculó el consumo total de gas natural, luego a partir de su poder calorífico y factor de emisión se estimó la cantidad de CO<sub>2</sub> liberada a la atmosfera.

### **Cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub>**

La refinería cuenta con una serie de procesos que fueron analizados en conjunto e individualmente por Acevedo y Nino (2013), sobre esta base y los registros históricos provenientes del año 2013 se estimó las emisiones en la refinería. En la Refinería El Palito se desarrollan las actividades asociadas a cuatro unidades de negocio: Destilación y Especialidades, Conversión y Tratamiento, Servicios Industriales y Movimiento de Crudo y Productos (M.C.P.); agrupando características similares se estructuró la siguiente fórmula:

$$CO_2(TR) = CO_2(H) + CO_2(C) + CO_2(M) + CO_2(G) + CO_2(ME) + CO_2(V) + CO_2(RG) + CO_2(IA) \quad (1)$$

Dónde: CO<sub>2</sub> dióxido de carbono o gas carbónico, H horno, C compresores, M motores, G Generadores, M mechurrios, V venteos, IA incinerador de azufre.

Para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por el consumo de gas natural, se usó su consumo total (PDVSA, 2013) luego, en cada fuente generadora de CO<sub>2</sub>, se usaron el poder calorífico del gas natural, su factor de emisión entre otras variables para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida a la atmosfera. Las ecuaciones siguientes, fueron usadas en los cálculos:

$$CO_{2(H)} = ((d_{(g/l)}) * CG_{(Mpies3/día)} * D_{OP(Días/año)}) \quad (2)$$

Transformando lo anterior a (Tn/Año) quedando en:

$$CO_{2(H)} = ((3.67 * T_C * 0.76 * d) * CG) / 35.3 * D_{OP}$$

Donde F 3.67; F<sub>1</sub> 0.76 ; F<sub>2</sub> 35.3; F<sub>4</sub> 1000; F<sub>10</sub> 100; F<sub>11</sub> 24; TC tipo de calentamiento ; d densidad; Dop días de operación

Finalmente, la generación de CO<sub>2</sub> se calculó como sigue:

$$CO_{2(C)} = ((F * T_{CO} * F_1 * d) * CG) / F_2 * D_{OP} \quad (3);$$

$$CO_{2(M)} = ((F * F_1 * d) * CG) / F_2 * D_{OP} \quad (4)$$

$$CO_{2(G)} = ((F * F_1 * d) * CG) / F_2 * D_{OP} \quad (5)$$

$$CO_{2(MF)} = ((F * F_1 * d) * CG) / F_2 * F_4 \quad (6)$$

$$CO_{2(V)} = CG / F_2 * F_4 * D * \%w/w / F_{10} \quad (7)$$

$$CO_{2(IA)} = \%V/V * F_{11} * FS \quad (8)$$

### Determinación de la Huella de Carbono

La capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>, se estimó como se detalla en Gareis y Ferrero (2010), por tanto se agruparon en actividades los distintos usos de suelo y los valores de absorción correspondientes a cada uno, para poder estimar la absorción de CO<sub>2</sub> de cada actividad considerando únicamente aquellas que se adecuan a las particularidades locales. En cada caso se empleó la Tabla 1.

**Tabla 1.** Capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> según actividades

Actividad	Usos del suelo	gr Absorción	gr Absorción
-----------	----------------	--------------	--------------

		CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	TnCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año
Industrial	Zona industrial y comercio	148	1,48
	Urbanizaciones residenciales:		
Urbana	Infraestructura de comunicaciones (auto vías, autopistas y enlaces varios)		
	Complejos ferroviarios, zonas portuarias, aeropuertos)	1313	13,13
	Otras infraestructuras técnicas		
	Zonas verdes urbanas	1439	14,39
	Equipamiento deportivo y recreativo	720	7,20
Áreas con agua	Ríos y cauces naturales (otras formas ríparias)	1144	11,44
	Lagunas continentales	983	9,83
Otros	Pastizales con claros;	634	6,34
	Playas, dunas y arenales:	321	3,21
	Roquedos y suelos desnudos	121	1,21

Fuente: Gareis y Ferrero(2010).

Los valores de absorción de cada actividad según la superficie que ocupan, medidas en grCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>año, se estimaron con la siguiente ecuación:

$$A_TCO_2 = \text{superficie (ha)} * \text{absorción del área} \quad (9)$$

En donde A<sub>T</sub> es absorción total de CO<sub>2</sub>.

Para obtener la subhuella total de absorción de CO<sub>2</sub> se aplicó la siguiente ecuación:

$$H^S CO_2 = TnCO_2(TR)/A_TCO_2 \quad (10)$$

En donde H<sup>S</sup>CO<sub>2</sub> es subhuella de absorción de CO<sub>2</sub>, TnCO<sub>2</sub>(TR) es toneladas totales en Refinería de CO<sub>2</sub>, A<sub>T</sub>CO<sub>2</sub> es absorción de CO<sub>2</sub> total.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.- Modelo de cuantificación de CO<sub>2</sub> en Tn/año

El CO<sub>2</sub> no tiene valores límite de emisión o inmisión ya que no se trata de un gas tóxico o nocivo para la salud, sino de una sustancia que contribuye a la existencia del denominado Efecto Invernadero, de carácter global. Las Tablas 2 y 3, resumen los resultados de la aplicación de las ecuaciones descritas en la sección de metodología.

**Tabla 2.** Unidad de instalación: hornos y caldera.

Instalaciones	Destilación atmosférica			Des. Vacio	Planta Azufre	Incinerador	Solv. Ind	Reformación Catalítica		Servicios				Planta BTX				Totales
	B	B	B					B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
Unidad	101	102	103		6901	6903	2301	2001	2501	7451	7452	7453	4401	4201	4301	2502	7454	
Consumo de gas	153,6	40,3	106,0	187,0	3,7	8,3	10,1	77	15,8	114,2	114,6	114,6	126,4	9,9	24,2	13,5	114,6	1,234
Días trabajados	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	
Valores de CO2	3,987	1,05	4,85	97	215	262	1,999	410	2,963	2,975	2,975	2,975	3,280	257	627	350	2,975	32,022

**Tabla 3.** Resultados totales de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Fuente Emisora	Emisiones (tn/año)
Hornos y Calderas (H)	38.044
Compresores (C)	12.032
Motores (M)	8.157
Generadores (G)	650.000
Mechurrios y Fosas (MF)	28.315
Venteos (V)	6.320
Incineradores de Azufre (IA)	17.260
<b>Total de CO2</b>	<b>760.128</b>

La Refinería no contribuye al agravamiento de calentamiento global del planeta pues los valores estimados en la Refinería El Palito bajo estudio, están por debajo al referido por Martín (2005), quien calculó una emisión de CO<sub>2</sub> (a partir de un inventario de emisiones de CO<sub>2</sub>), de 3.565.910 tn/año. Los valores obtenidos sirven de referencia en los desarrollos con

miras a posibles cambios de tecnología y usos; específicamente el proyecto de expansión de la Refinería 2012-2016 que aumentará la producción en un 100% (PDVSA, 2013), esto incluye una dieta de hidrocarburo menos amigable (proveniente del Orinoco), se mejoraron los procesos y la materia prima donde se generen desechos (coque). Esto es aplicable a los nuevos desarrollos de la zona (Pequiven, Pdvsa, Planta Centro, Bolipuertos entre otros). Como medidas correctivas se sugirieron: mantenimiento del precipitador electrostático reduciendo así las emisiones

### Determinación de la Huella de Carbono

La Tabla 4 resume las absorciones de CO<sub>2</sub> estimadas, según los tipos de suelo, actividad y uso, y calculadas como se describió en la sección, metodología.

**Tabla 4.** Absorción por usos del suelo

Actividad	Usos del suelo	gr Absorción CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	ha-en refinería	gr Absorción TnCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año
Industrial	Zona industrial y comercio	148	10	1,48
	Urbanizaciones residenciales: Infraestructura de comunicaciones (auto vías, autopistas y enlaces varios			
Urbana	Complejos ferroviarios, zonas portuarias, aeropuertos)	1313	4	13,13
	Otras infraestructuras técnicas			52,52
	Zonas verdes urbanas	1439	20	287,8
	Equipamiento deportivo y recreativo	720	6	43,2
Áreas con agua	Ríos y cauces naturales (otras formas ríparias)	1144	4	45,76
Otros	Lagunas continentales	983	11	108,13
	Pastizales con claros;	634	4	25,36
	Playas, dunas y arenales:	321	30	96,13
	Roquedos y suelos desnudos	121	6	7,26

Las áreas con agua se destacan por ser las que mayores valores de absorción de CO<sub>2</sub> presentan. La actividad denominada, otros, posee un valor de absorción de CO<sub>2</sub> medio, esto se debe a que los usos de suelo playas, dunas, arenales, roquedo y suelos desnudos tienen muy baja absorción de este gas. La actividad urbana presenta un valor relativamente bajo de

absorción, siendo los usos de suelo correspondientes a la actividad industrial los que muestran los niveles de absorción más bajas.

La subhuella total se estimó igual a 1.407 tn de CO<sub>2</sub>/año. Este resultado implica que los distintos usos de suelo, solo tiene la capacidad de absorber el 2% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> generadas por la Refinería. Si se asumiese una relación lineal, sería necesario una superficie equivalente a 90 partes de igual tamaño y características (equivalente a decir 15 410000 hectáreas) para absorber el CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera.

## **CONCLUSIONES**

Se obtuvo un modelo propio de estimación de comportamiento de los gases en la Refinería El Palito con valores y tiempos reales de emisiones, normalizando y estandarizando el método, con lo cual se hace una predicción e inmediatamente se implementan medidas correctivas para normalizar las operaciones de la Refinería y así lograr una mejora de la calidad de aire que se respira en la zona; mejorando a su vez la actuación de la empresa en este tema.

La herramienta computacional desarrollada es fácil y funcional. Agiliza la ejecución de los cálculos de estimación de gases en condiciones reales, evitando al usuario realizar cálculos monótonos y complejos. De igual forma, permite al operador del sistema realizar análisis de manera rápida y sistemática.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- IPCC. (2008). Resumen de Comunicación Nacional de Cambio Climático de Venezuela (PCNCC). 32pp
- Codère Y. (2010). La gestion du carbone dans les organisations québécoises. l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.). Université de Sherbrooke. 90pp
- Acevedo Y.y Niño Z. (2013). Riesgos ambientales por emisiones atmosféricas en una refinería de petróleo. Revista Universidad de Carabobo 4: 56-67.

- Acevedo Y.y Niño Z. (2012). Gestión ambiental en una refinería de petróleo venezolana. XXXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y ambiental. Salvador, Brasil. 135pp.
- Acevedo Y. y Niño Z. (2011). Responsabilidad social y Ambiental en una refinería de petróleo bajo el contexto del desarrollo sustentable. II Seminario de Ciencias Sociales. Universidad de Carabobo. 268pp.
- Cengel, Y. y Boles, M. (2006). Termodinámica. (5da ed.). México, D. F.: Mc Graw Hill.
- Gareis., M.C y Ferrero., F. (2010). Estimación de la subhuella de absorción en argentina. Revista desarrollo local sostenible. Universidad de Málaga Vol. 6 N° 17
- PDVSA. (2012 - 2013). Informe conceptual de ingeniería. PDVSA. 58 pp
- Normas de calidad del aire y control de la contaminación atmosférica venezolanas, Decreto 638, (1995)
- TECSUL CA. (2001). Air Quality Monitoring Network Project El Palito Refinery
- Martin J. (2005). Análisis y Evaluación de las Emisiones de Gases de efecto Invernadero en la Industria del Petróleo y el Gas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.168pp
- Hendriks, E. Worrell, D. de Jager, K. Blok and P. Riemer.EE.UU. (2004). Greenhouse gas R&D Programme. Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry by C.A. IEA
- Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC). (2008). Datos globales (ds3505) [www.HYPERLINK"http://www.ncdc.noaa.gov/"ncdcHYPERLINK](http://www.ncdc.noaa.gov/) ["http://www.ncdc.noaa.gov/"](http://www.ncdc.noaa.gov/).noaa.gov/ (consultado 2009)
- PDVSA. (2002). Manual de Ingeniería de Riesgos, Volumen 1, Filosofía de Diseño Seguro, No. IR-S-01
- PDVSA. (2005). Manual de Ingeniería de Riesgos, Volumen 1 Criterios Para El Análisis Cuantitativo De Riesgos. Estándar No. IR-S-02