

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**“DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE BIÓXIDO DE CARBONO
EMITIDO POR EQUIPOS DE COMBUSTIÓN INDUSTRIALES”**

POR

ULISES ALAN VELAZQUEZ GRAMAJO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA

OCTUBRE DE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. ULISES ALAN VELAZQUEZ GRAMAJO, QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

PRESIDENTE:



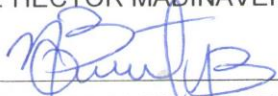
ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL:



M.C. NATALIA BELEN ORTEGA MORALES

VOCAL:



DR. ALFREDO OGAZ

M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARREAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

OCTUBRE DE 2017.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**“DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE BIÓXIDO DE CARBONO EMITIDO
POR EQUIPOS DE COMBUSTIÓN INDUSTRIALES”**

POR:

ULISES ALAN VELAZQUEZ GRAMAJO

TESIS:

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

ASESOR PRINCIPAL:



ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

ASESOR:



M.C. NATÁLIA BELEN ORTEGA MORALES

ASESOR:



DR. ALFREDO OGAZ

M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

OCTUBRE DE 2017.



AGRADECIMIENTOS

A mi familia, a mis padres y mis hermanas, mi infinita gratitud por darme la oportunidad de ser parte de ustedes.

A mi *Alma Mater*, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por hacer posible mi formación académica y por ser parte de mi vida.

A la carrera de Ingeniero en Procesos Ambientales por ofrecerme un camino.

Al Ing. Joel Limones Avitia por la dirección de la tesis.

A todos mis amigos por darme un poco de su existencia.

DEDICATORIAS

A mi padre, comerciante de toda la vida y por sus enseñanzas;

A mi madre por su amor y paciencia;

A mis hermanas, por ser un ejemplo para mí y por su incondicional apoyo;

A ustedes, mi más humilde y sincero reconocimiento porque hicieron esto posible.

A mis amigos de la carrera de Ingeniero en Procesos Ambientales; A mis amigos con quienes compartí momentos memorables y que forman parte de mi existencia.

RESUMEN

En la ciudad de Torreón se encuentra ubicada la empresa “Alimentos Balanceados Simón Bolívar” es una procesadora de alimentos balanceado para aves y ganado, la cual para la elaboración del alimento, conlleva la generación de gases y vapores. Vapores generados en equipos denominados generadores de vapor o calderas, Para realizar la medición de la presencia de gases y vapores generados en la caldera y emitidos a la atmosfera, se utilizan: instrumentos a base de celdas electroquímicas que básicamente son monitores de lectura directa. Éste es uno de los métodos más extendidos por su sencillez, facilidad de utilización y por la amplia gama de contaminantes que abarcan.

Las lecturas para calcular los gases de combustión provenientes de fuentes fijas emitidos por una chimenea, se emplea el equipo denominad Bacharach, el cual opera a base de celdas electroquímicas y da lecturas de los siguientes gases contaminantes; O₂ %, CO₂ %, y CO en ppm.

Los resultados que se obtuvieron en el presente trabajo fueron muy prometedores ya que se detectaron una variedad de gases, y algunos están regulados bajo la NOM-085-SEMARNAT-2011.

Palabras Clave: Captación, Contaminante, Gases, Medición, Sustancia.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	iii
INDICE	iv
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE ILUSTRACIONES	vii
I. INTRODUCCION	1
II.- OJETIVO	2
1.1 Objetivo General:	2
1.2 Objetivo específico:.....	2
III.- REVISION DE LITERATURA	3
3.1 Generalidades	3
3.2 El Bióxido de Carbono.....	6
3.3 Generación de CO ₂ a partir de los residuos	8
3.4 El Cambio Climático	9
3.5 Los Efectos del CO ₂ en la Atmosfera	10
3.6 Emisiones de CO ₂ por Actividades Antropogénicas	11
3.6.1 Óxidos de Carbono	12
3.6.2 Dióxido de Carbono	12
3.7 Suministro de Energía.....	14
3.7.1 La Producción Industrial.....	15
3.7.2 Fuentes Naturales	15
3.7.3 Ciclo del Carbono	16
3.8 Producción humana de CO ₂	17

IV. MATERIALES Y METODOS	21
4.1 Método utilizado para la medición de emisiones	22
4.2 Muestreo	23
4.3 Normas Oficiales Mexicanas (NOM)	23
4.4 Características de los equipos de combustión.	24
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	25
5.1. Resultados.	26
5.1.1 Determinación de la cantidad de CO ₂ emitido (Kg/s)	26
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
6.1 Conclusiones	34
6.2 Recomendaciones	35
VII. REFERENCIAS	35

INDICE DE CUADROS

Tabla 1 Descripción de los equipos de combustión.	25
Tabla 2 Lecturas en porcentaje de bióxido de carbono tomadas de las calderas de 300 HP y 400 HP. Durante los años 2014, 2015, 2016.	26
Tabla 3 Método estadístico de la caldera #1 del año 2016.....	32
Tabla 4 Método estadístico de la caldera #2 del año 2016.....	32
Tabla 5 Método estadístico de la caldera #1 del año 2015.....	32
Tabla 6 Método estadístico de la caldera #1 del año 2014.....	32
Tabla 7 Método estadístico de la caldera #2 del año 2014.....	32

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Empresa de Alimentos Balanceados Simón Bolívar S.A. de C.V.	22
Ilustración 2 Analizador de gases como el CO, O y CO₂.	23

I. INTRODUCCION

La contaminación del aire en conjunto describe la presencia de una mezcla diversa y compleja de productos químicos, material particulado (PM), o de material biológico en el ambiente que puede causar daños o molestias a los humanos u otros organismos vivos. Millones de personas en todo el mundo están crónicamente expuestos a los contaminantes transportados por el aire en concentraciones que están muy por encima de las normas legales del medio ambiente. Por lo tanto, la morbilidad y la mortalidad atribuible a la contaminación del aire siguen siendo una preocupación creciente de salud pública en todo el mundo (Genc *et al.*, 2012).

Recientemente, las diversas acciones fisiológicas de monóxido de carbono (CO), óxido nítrico (NO) y sulfuro de hidrógeno (H₂S) tienen un papel muy importante en las enfermedades a través de la regulación del generador de gas y mecanismos han atraído un gran interés (Kajimura *et al.*, 2010).

La actividad antropogénica está produciendo cambios sin precedentes al medioambiente global. La acumulación de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), entre otros, tienen implicaciones en el clima del planeta. El mundo se ha calentado en aproximadamente 0,6 °C en las últimas tres décadas. El tiempo que el CO₂ reside en la atmósfera excede los 100 años, por lo cual, lo que hoy se haga en la tierra tendrá repercusiones en las futuras generaciones (Gonzales *et al.*, 2014).

Gases nocivos pueden afectar la salud humana. Por ejemplo, el monóxido de carbono se utiliza ampliamente en la industria, pero debido a su ausencia de olor, el efecto anestésico y la inflamabilidad, el monóxido de carbono puede causar la muerte, si las personas están expuestas a este gas, por un breve periodo de tiempo. Esto puede dañar el sistema nervioso y causar sensación, comprensión y disfunciones de la memoria mediante el acceso a la circulación de la sangre a través de las vías respiratorias (Wang *et al.*, 2013).

II.- OJETIVO

1.1 Objetivo General:

Determinar si la cantidad de bióxido de carbono emitida por equipos de combustión en las industrias, han ayudado al incremento de los gases de efecto invernadero en la atmosfera, como lo es el CO₂.

1.2 Objetivo específico:

Determinar si los equipos denominado generadores de vapor o calderas, que consumen gas natural como combustible, son equipos que ayuda al calentamiento global mediante el incremento del CO₂ emitido a la atmosfera por el proceso de combustión que se lleva a cabo en dichos equipos.

III.- REVISION DE LITERATURA

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo. Según las últimas estimaciones de la OMS sobre la carga mundial de morbilidad, la contaminación del aire exterior e interior provoca unos siete millones de defunciones prematuras. Esto representa actualmente uno de los mayores riesgos sanitarios mundiales, comparable a los riesgos relacionados con el tabaco, y superado únicamente por los riesgos sanitarios relacionados con la hipertensión y la nutrición (Liu *et al.*, 2013).

3.1 Generalidades

La OMS estima que un 80% de las defunciones prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior se deben a cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular, mientras que un 14% se deben a neumopatía obstructiva crónica o infección aguda de las vías respiratorias inferiores, y un 6% a cáncer de pulmón (Maguire *et al.*, 2014).

Una evaluación de 2013 realizada por la Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS determinó que la contaminación del aire exterior es carcinógena para el ser humano, y que las partículas del aire contaminado están estrechamente relacionadas con la creciente incidencia del cáncer, especialmente el cáncer de pulmón. También se ha observado una relación entre la contaminación del aire exterior y el aumento del cáncer de vías urinarias y vejiga (Maguire *et al.*, 2014).

Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3,7 millones de defunciones prematuras; esta mortalidad se debe a la exposición a pequeñas partículas de 10 micras de diámetro (PM10) o menos, que pueden causar cardiopatías, neumopatías y cáncer (Maguire *et al.*, 2014).

Los habitantes de países de ingresos bajos y medianos sufren desproporcionadamente la carga de morbilidad derivada de la contaminación del aire exterior, lo que se constata por el hecho de que el 88%, de los 3,7 millones de defunciones prematuras, se producen en esos países, y la mayor carga de morbilidad se registra en las regiones del Pacífico Occidental y el Asia Sudoriental de la OMS. Las últimas estimaciones de la carga de morbilidad reflejan el importantísimo papel que cabe a la contaminación del aire en las cardiopatías y las defunciones prematuras; mucho más de lo que creían los científicos anteriormente (Maguire *et al.*, 2014).

La mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior están más allá del control de las personas, y requieren medidas por parte de las ciudades, así como de las instancias normativas nacionales e internacionales en sectores tales como transporte, gestión de residuos energéticos, construcción y agricultura (Gonzales *et al.*, 2014).

Además de la contaminación del aire exterior, el humo en interiores representa un grave riesgo para la salud de unos 3.000 millones de personas que cocinan y calientan sus hogares con combustibles de biomasa y carbón. Unos 4,3 millones de defunciones prematuras ocurridas en 2012 eran atribuibles a la contaminación del aire en los hogares. Casi todas se produjeron en países de ingresos bajos y medianos (Gonzales *et al.*, 2014).

Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005 ofrecen orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosférica clave que entrañan riesgos sanitarios. Las Directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM10) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire (Gonzales *et al.*, 2014).

Utilización de tecnologías limpias que reduzcan las emisiones de chimeneas industriales; gestión mejorada de desechos urbanos y agrícolas, incluida la

recuperación del gas metano de los vertederos como una alternativa a la incineración (para utilizarlo como biogás) (Gonzales *et al.*, 2014).

El dióxido de carbono (CO₂) es el más importante de los gases menores, involucrado en un complejo ciclo global. Se libera desde el interior de la Tierra a través de fenómenos tectónicos, vulcanismo y a través de la respiración, procesos de suelos, combustión de compuestos con carbono y la evaporación oceánica (Witter *et al.*, 2014).

Por otro lado es disuelto en los océanos y consumido en procesos fotosintéticos. En la actualidad su concentración ya superó las 400 ppmv (partes por millón volumen) y el máximo histórico sigue subiendo año tras año, producto de la acción antropogénica: quema de combustibles fósiles y materia orgánica en general y procesos industriales como la fabricación de cemento (Witter *et al.*, 2014).

La concentración de CO₂ en la atmósfera está aumentando desde finales del siglo XIX y el ritmo de aumento se aceleró a finales del siglo XX, pasando de 0,5 ppm/año en 1960 a 2 ppm/año en año 2000 (valor mínimo de 0,43 en 1992 y máximo de 3 ppm en 1998). Desde 2000, la tasa anual de aumento apenas ha cambiado (Witter *et al.*, 2014).

Las emisiones antropogénicas mundiales están aumentando cada año: en 2007 las emisiones de CO₂ eran 2,0 veces mayores que en 1971. En 1990 fueron emitidas 20.878 Gt/año de CO₂ y en 2005 (26.402), o sea un aumento del 1,7% por año durante este período. La combustión de un litro de gasolina genera 2.3 kg de CO₂ y la de un litro de gasóleo 2,6 kg de dióxido de carbono (Witter *et al.*, 2014).

En los humanos: el CO₂ solo es tóxico en altas concentraciones.

- A partir de 0,1%, (1000 ppm), el CO₂ se convierte en uno de los factores de asma o del síndrome de los edificios. Esta concentración es el máximo

permitido para el diseño de sistemas de aire acondicionado, en el interior de los edificios y de las viviendas.

- Por encima de 0,5%, (5000 ppm), es la exposición ocupacional máxima que se permite en la mayoría de los países, y el máximo permitido para el diseño de equipos de aire acondicionado en los aviones no debe sobrepasarlo.
- 3 veces esa tasa (1,5 %, o 15000 ppm) es la exposición laboral máxima por un máximo de 10 minutos.
- A partir de 4% de CO₂ en el aire, (40000 ppm) se alcanza el umbral de efectos irreversibles sobre la salud (el umbral mínimo que obliga a una evacuación inmediata de los locales).
- A partir del 10% y una exposición superior a 10 minutos sin un recurso de reanimación rápida, se produce la muerte (Witter *et al.*, 2014).

La fuente más importante de emisiones de CO₂ a nivel mundial proviene del transporte de productos y pasajeros. Las emisiones causadas cuando la gente se desplaza (coche, avión, tren, etc.) son ejemplos característicos de emisiones directas: la gente escoge a dónde va y que medio utiliza (Ramme *et al.*, 2016).

3.2 El Bióxido de Carbono

El dióxido de carbono (CO₂), es uno de los gases más abundantes en la atmósfera y juega un papel importante en los procesos vitales de plantas, animales y, en definitiva del ser humano, como en la fotosíntesis, la respiración o en diversas actividades internas del cuerpo humano. El CO₂, en cantidades adecuadas, es uno de los gases de efecto invernadero que contribuye a que la Tierra tenga una temperatura habitable. Y es que sin el CO₂, la Tierra sería un bloque de hielo (Boulet *et al.*, 2016).

El CO₂, a temperatura ambiente, es un gas incoloro e inodoro, ligeramente ácido y no inflamable. Cuando alcanza los -78° C se vuelve sólido y se hace líquido cuando se disuelve en agua, aunque si la presión desciende escapará al aire, produciendo una masa de burbujas (Boulet *et al.*, 2016).

Lugar al calentamiento global, del que se sospecha que puede provocar un aumento de la actividad de las tormentas o el derretimiento de las placas de hielo de los polos, lo que provocará diversos problemas ambientales, como inundaciones en los continentes habitados (Boulet *et al.*, 2016).

El incremento de las emisiones de dióxido de carbono, provoca alrededor del 50-60% del calentamiento global. La combustión de combustibles fósiles para la generación de energía provoca alrededor del 70-75% de las emisiones de CO₂, mientras que el resto de las emisiones son provocadas por los tubos de escape de los vehículos (Boulet *et al.*, 2016).

Pero la emisión de CO₂ surge también de los propios consumidores: en España cada hogar produce hasta 5 toneladas de CO₂ anuales, según datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino. Sólo el coche y la calefacción por calderas, concentran el 54% del CO₂ emitido por el consumo familiar (Boulet *et al.*, 2016).

Ahora veamos qué cantidad de GEI emitimos en México. De acuerdo con el último Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, en 2002 se produjeron poco más de 553 millones de toneladas de GEI (Alshboul y Lorke, 2015).

En el mundo, la emisión de CO₂ se ha incrementado a la par del consumo de combustibles fósiles. Este incremento no ha sido pequeño: entre 1971 y el año 2005, la emisión mundial derivada del consumo de combustibles fósiles aumentó alrededor de 90%; en este último año se emitieron en el mundo 27 mil millones de toneladas de CO₂ (Boulet *et al.*, 2016).

Suena poco si se compara con la emisión mundial, pero en realidad no lo es tanto si consideras que el peso de los GEI que se emiten en México equivale a unas 5 mil 500 veces el concreto empleado en la construcción del Estadio Azteca. El panorama resulta más preocupante si consideramos que nuestras emisiones se han incrementado en los últimos años: la emisión del 2002 fue 30% mayor que la estimada doce años antes, en 1990 (Alshboul y Lorke, 2015).

En el 2002, la principal fuente de gases de efecto invernadero en México fue el sector energía, responsable de cerca de 70% de las emisiones. En este sector se incluye el consumo de los combustibles fósiles, indispensable para mover los autos y otros transportes y para la generación de electricidad (Genc *et al.*, 2012).

Por último, los desechos que generamos en nuestras casas e industrias también emiten GEI. Las aguas residuales municipales e industriales emiten metano y óxido nitroso por la descomposición de la materia orgánica, mientras que cuando se queman residuos también se liberan CO₂ y óxido nitroso a la atmósfera (Boulet *et al.*, 2016).

3.3 Generación de CO₂ a partir de los residuos

También el manejo de los residuos y el tratamiento de las aguas residuales, a pesar de sus indudables beneficios, generan GEI: las emisiones por estos conceptos contabilizaron cerca del 12% del total de las emisiones en el país en 2002 (Attermeyer *et al.*, 2016).

Hay otra fuente de emisión que no habíamos mencionado hasta ahora, pero que también es importante: se conoce como “uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura”. Esta fuente incluye básicamente las emisiones generadas por la vegetación natural, las actividades que promueven el cambio de los ecosistemas naturales terrestres a cubiertas agrícolas, ganaderas o urbanas, y las relacionadas con la explotación forestal (Attermeyer *et al.*, 2016).

Por otro lado, cuando la vegetación natural es removida y quemada para convertir el terreno en potreros, campos de cultivo e incluso, zonas urbanas -lo que se conoce técnicamente como “cambio de uso del suelo”-, también se liberan GEI (Attermeyer *et al.*, 2016).

Para muchos campesinos o propietarios de terrenos con árboles o arbustos, frecuentemente la manera más sencilla de limpiarlos es usar el fuego, con lo que una gran parte del carbono almacenado en la madera y las hojas, así como en la

hojarasca del suelo, es convertido rápidamente en CO₂ y liberado a la atmósfera (Abualqumboz *et al.*, 2016).

En otras ocasiones se corta la vegetación existente y simplemente se deja descomponer, con lo que también se generan GEI. Debido a que en México la deforestación ha mantenido valores altos en las últimas décadas, los ecosistemas terrestres representan una fuente significativa de las emisiones de este tipo de gases (Abualqumboz *et al.*, 2016).

3.4 El Cambio Climático

El cambio climático es la mayor amenaza ambiental del siglo XXI, con consecuencias económicas, sociales y ambientales de gran magnitud. Todos sin excepción; los ciudadanos, las empresas, las economías y la naturaleza en todo el mundo están siendo afectadas. El clima siempre ha variado, es dinámico, no permanece estable y siempre han existido variaciones (Abualqumboz *et al.*, 2016).

El problema del cambio climático es que en el último siglo el ritmo de estas variaciones se ha acelerado mucho, y la tendencia es que esta aceleración va a ser exponencial si no se toman medidas que lo controlen (Almeida *et al.*, 2016).

El nivel de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) ha aumentado un 31%; el metano (CH₄) se ha incrementado un 145% y el óxido nitroso (N₂O) un 15%. Se sabe que las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera en la actualidad superan las alcanzadas en el último medio millón de años, y probablemente en los últimos 20 millones de años (Almeida *et al.*, 2016).

La particularidad en el caso de la contaminación por CO₂ es que se trata de un coste social indirecto que –en contra de lo que es más habitual en las externalidades negativas no lo soportan los ciudadanos que residen en el área donde se genera; o solo lo soportan en muy escasa medida: El CO₂ es un gas inodoro e incoloro, por lo que no es percibido como una molestia por los ciudadanos (Almeida *et al.*, 2016).

Lo que vemos y olemos son gases y partículas de otros contaminantes (principalmente óxidos nitrosos, sulfuros y partículas de carbón), cuyo volumen – a diferencia del CO₂- sí que es susceptible de ser reducido cuanto más eficaz sean los filtros que obligatoriamente llevan los tubos de escape (Almeida *et al.*, 2016).

3.5 Los Efectos del CO₂ en la Atmosfera

El efecto negativo del CO₂ lo es sobre la atmósfera: sube hacia las capas altas; y la dinámica de corrientes atmosféricas hace que el CO₂ generado en un lugar se acabe acumulando y repartiendo por toda la atmósfera terrestre. Y es la suma de todas las emisiones locales de CO₂ lo que contribuye en gran medida al efecto invernadero – calentamiento global de la Tierra, cambio climático (Almeida *et al.*, 2016).

El efecto negativo de cualquier emisión local de CO₂ afecta a todo el planeta. El colectivo de perjudicados es en este caso toda la humanidad: son los habitantes de todos los países quienes soportan el coste social indirecto derivado de las emisiones de CO₂ generadas por cualquier industria de cualquier país (Asumadu-Sarkodie y Owusu, 2016).

Todo esto no ha ocurrido con la contaminación por CO₂ porque no se han dado ni las molestias a los ciudadanos ni la percepción de estos de la relación causa (procesos de combustión) – efecto (calentamiento global) (Asumadu-Sarkodie y Owusu, 2016).

Las autoridades políticas de un país signatario del protocolo de Kyoto, como es el caso de España, asumen así la obligación de tomar medidas para alcanzar los compromisos y calendario del protocolo en cuanto a reducción de emisiones. Es decir, deciden tener en cuenta la externalidad negativa, en el sentido de establecer una regulación orientada a la reducción de las emisiones de efecto invernadero en el país (Asumadu-Sarkodie y Owusu, 2016).

En consecuencia, los Estados signatarios de Kyoto a lo que se comprometen es a establecer legalmente no la obligación de eliminar sino la de reducir en una

determinada cuantía las emisiones de CO₂ en su territorio (Asumadu-Sarkodie y Owusu, 2016).

El objetivo asumido se concreta en no sobrepasar determinados volúmenes anuales de emisiones, según un calendario determinado. Un plan de reducciones anuales que se supone debe llevar a cumplir con los objetivos fijados en el protocolo para el país signatario considerado, en un primer horizonte 2008-12 (Asumadu-Sarkodie y Owusu, 2016).

Los objetivos al diseñar un 'mercado de emisiones de CO₂ es facilitar la consecución de las reducciones anuales por parte de cada país, y con el menor coste posible para las industrias afectadas (Curtarelli *et al.*, 2016).

El mercado de derechos de emisión de CO₂ surge en un país cuando la normativa legal no solo establece esos límites de emisión para cada industria-empresa y un impuesto por cada tonelada emitida de más, sino que además convierte esos tonelajes máximos autorizados en un derecho (sic) para esas empresas: La empresa 'i' tiene entonces el derecho a emitir 'ix' toneladas de CO₂ al año. Es decir, le han sido asignados Derechos de Emisión (DE) por esas ix Tn equivalentes de CO₂ (Curtarelli *et al.*, 2016).

3.6 Emisiones de CO₂ por Actividades Antropogénicas

Las emisiones de CO₂ causadas por el hombre suelen tener unas fuentes bastante obvias, siendo estas los medios de transporte que utilizan derivados del petróleo como combustible (como por ejemplo automóviles, camiones, motocicletas, etc.), también están las grandes industrias y fábricas, aunque se estima que la contaminación atmosférica que producen los vehículos es mayor (Curtarelli *et al.*, 2016).

Por el lado de la naturaleza, las mayores emisiones de CO₂ se dan cuando hay incendios forestales, y también durante erupciones volcánicas, sobre todo las que tuvieron ciertos volcanes hace millones de años, llegando a cambiar el clima de la Tierra (Ding *et al.*, 2016).

3.6.1 Óxidos de Carbono

Incluyen el dióxido de carbono (CO₂) y el monóxido de carbono (CO). Los dos son contaminantes primarios(Ding *et al.*, 2016).

3.6.2 Dióxido de Carbono

Características.- Es un gas sin color, olor ni sabor que se encuentra presente en la atmósfera de forma natural. No es tóxico. Desempeña un importante papel en el ciclo del carbono en la naturaleza y enormes cantidades, del orden de 10¹² toneladas, pasan por el ciclo natural del carbono, en el proceso de fotosíntesis (Ding *et al.*, 2016).

Acción contaminante.- Dada su presencia natural en la atmósfera y su falta de toxicidad, no deberíamos considerarlo una sustancia que contamina, pero se dan dos circunstancias que lo hacen un contaminante de gran importancia en la actualidad:

- es un gas que produce un importante efecto de atrapamiento del calor, el llamado efecto invernadero; y
- su concentración está aumentando en los últimos decenios por la quema de los combustibles fósiles y de grandes extensiones de bosques(Ding *et al.*, 2016).

La actividad humana no le hace cosquillas al planeta, precisamente. No lo mimas, ni siquiera lo respeta. Sabemos de sobra cómo las gasta ese primate llamado ser humano, resultado de un proceso evolutivo que duró millones de años, iniciado con los primeros primates (Ding *et al.*, 2016).

De aquello hace 65 millones de años, en concreto, y desde entonces, el ser humano, del suborden de los haplorrinos y de la familia *hominidae*, no ha dejado de dañar a otras especies y contaminar el planeta. ¿Su última hazaña? Provocar la sexta extinción masiva, consecuencia de factores propiciados por los

humanos, como la superpoblación, la explotación de recursos y la contaminación (Ding *et al.*, 2016).

En lo que respecta a la contaminación, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) provocan un exceso de gases de efecto invernadero tal que solo si lo frenamos a tiempo podremos detener sus nefastas consecuencias. Pero, si bien es cierto que el hombre está contribuyendo en gran medida a aumentar el CO₂ que existe en la atmósfera, existen fuentes naturales de emisión de CO₂. Aun así, el cambio climático se debe a la actividad humana (Cheah *et al.*, 2016).

Salvo que ocurran milagros en las próximas cumbres climáticas (COP21 y siguientes), la producción de CO₂ no dejará de aumentar en los próximos años. Ocurre desde la revolución industrial, especialmente cuando se empezó a abusar de la combustión de productos derivados del petróleo, en el siglo XIX, y a provocar desastres ambientales a través de una masiva deforestación, sumideros de carbono que van reduciendo su capacidad para absorber carbono (Cheah *et al.*, 2016).

Desde entonces, el nivel de concentración de CO₂ de la atmósfera se ha disparado. A las causas naturales se les suman las ocasionadas por el ser humano. No olvidemos que más del 75 por ciento de las emisiones de CO₂ provocadas por el ser humano provienen de los combustibles fósiles, en los que englobamos el carbón, el gas natural y el petróleo (Cheah *et al.*, 2016).

Al producirse la combustión, el carbón contenido en ellos es devuelto casi por completo a la atmósfera, provocando un importante desequilibrio del ciclo del carbono. Para hacernos una idea de la situación, ahí van unos datos: mientras la concentración del CO₂ atmosférico era de 280 ppm en el periodo 1000-1750, en el 200 pasó a 368 ppm. En porcentajes, equivaldría a un incremento de un 31 por ciento, un aumento sin precedentes. Actualmente, la concentración es la mayor en los últimos 420.000 años, y quizá también sea la máxima de los últimos 20 millones de años (Cheah *et al.*, 2016).

A esta situación que llevamos la friolera de 150 años sin controlar contribuyen algunas actividades humanas. Las que implican quemar combustibles fósiles y biomasa (leña, pellets, gas, petróleo y combustibles) nos permiten producir energía, con la que obtenemos electricidad, o utilizamos para producir materiales o, por ejemplo, para el transporte (Cheah *et al.*, 2016).

Hoy, una de las huellas de carbono más profundas proviene del transporte de mercancías y personas. El coche, el avión, el transporte por carretera, ferroviario y marítimo, entre otros tipos de transporte, son grandes emisores de CO₂, si bien algunos lo son más que otros, en especial en transporte aéreo o por carretera (Cheah *et al.*, 2016).

Por mucho que se haya avanzado en transporte sostenible, su uso no deja de ser anecdótico dentro del contexto general, del mismo modo que aumenta el uso de energías renovables, aumenta todavía más el uso de combustibles fósiles. Actualmente, el 99 por ciento de la energía utilizada para el transporte procede de combustibles fósiles, y la tendencia no tiene pinta de cambiar. Igualmente, el consumo de electricidad se genera sobre todo a partir de la combustión de combustibles fósiles. Salvo países como Francia o Canadá, el resto los necesita para generar entre el 60 y el 80 por ciento de su electricidad (Kawi *et al.*, 2015).

3.7 Suministro de Energía

Sin embargo, según el Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC), el grueso del CO₂ emitido se debió al capítulo suministro de energía eléctrica, en el que se incluyen el gas, vapor, aire acondicionado y agua para uso industrial y doméstico, representando más de una cuarta parte de las emisiones mundiales de Gases de Efecto Invernadero antropogénico (causados por el hombre) en el informe de 2004 (Li *et al.*, 2015).

3.7.1 La Producción Industrial

Los procesos industriales (incluyendo además de las industrias manufactureras, la construcción, minería y agricultura) también son otra importante fuente de emisiones de dióxido de carbono. Ya sea mediante el uso de combustible fósil para obtener el calor y vapor necesarios para las diferentes etapas de su producción como por ser grandes consumidores de electricidad. A ello, además, hay que sumar las emisiones provocadas por el transporte de sus materias primas y productos (Liang *et al.*, 2016).

La industria manufacturera, -especialmente las papeleras, productos de base mineral, alimentación, refinerías de petróleo, metal, químicas-, son las que más contribuyen a las emisiones producidas de CO₂ por la industria, así como la producción de cemento, hierro y acero, entre otros procesos industriales, pues tratamientos de las rocas carbonáticas (piedra caliza, creta, etc.) muy polucionadores (Lim *et al.*, 2009).

3.7.2 Fuentes Naturales

Pero no solo el ser humano es fuente de emisiones de CO₂. Durante millones de años, la atmósfera ha estado recibiendo procedente de muy distintas fuentes, como el mismo proceso de respiración de un sinnúmero de seres vivos, que extraen oxígeno del aire que respiran y emiten CO₂, si bien las plantas compensan esta emisión al ser también sumideros de CO₂ cuando realizan la fotosíntesis (Liu *et al.*, 2013).

Los incendios forestales son otra fuente de CO₂ atmosférico a tener muy en cuenta. Muchos se producen de forma natural, pero incluso éstos hoy pueden deberse de forma indirecta a la acción del hombre, ya que el cambio climático los propicia a través de los denominados eventos extremos (Maguire *et al.*, 2014).

Las características de los incendios son distintas, ahora son más numerosos y virulentos, pues hay más periodos de sequía, olas de calor, y éstos a su vez son más severos. Igualmente, cuando los seres vivos mueren se descomponen en

procesos orgánicos que suponen emisiones de CO₂. Por último, además del magma, las erupciones volcánicas producen emisiones gaseosas, entre ellas el dióxido de carbono (Mellbye *et al.*, 2016).

El dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y con un sabor ácido. Su estructura molecular está compuesta de un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno, es decir, según la nomenclatura química: CO₂ (Mugler *et al.*, 2010).

Su densidad es, más o menos, 1,5 veces más densa que el aire y se disuelve en el agua en una proporción de un 0,9 de volumen del gas por volumen de agua, siempre a 20 grados centígrados (Naims, 2016).

El dióxido de carbono ha estado siempre presente en la naturaleza y es imprescindible para su equilibrio, el cual se consigue a través del llamado «ciclo del carbono», donde, durante un largo periodo de tiempo, se producen, en un proceso biogeoquímico, una serie de transformaciones del CO₂ esenciales para la regulación del clima y la vida en la tierra (Nobrega *et al.*, 2016).

3.7.3 Ciclo del Carbono

El «ciclo del carbono» comprende, en primer lugar, un ciclo biológico donde se producen unos intercambios de carbono (CO₂) entre los seres vivos y la atmósfera. La retención del carbono se produce a través de la fotosíntesis de las plantas, y la emisión a la atmósfera a través de la respiración animal y vegetal. Este proceso es relativamente corto y puede renovar el carbono de toda la tierra en 20 años (Banerjee *et al.*, 2016).

En segundo lugar, tenemos un ciclo biogeoquímico más extenso que el biológico y que regula la transferencia entre la atmósfera y los océanos y el suelo (litosfera). El CO₂ emitido a la atmósfera, si supera al contenido en los océanos, ríos, etc. es absorbido con facilidad por el agua convirtiéndose en ácido carbónico. Este ácido influye sobre los silicatos que constituyen las rocas y se producen los iones bicarbonato, lo cuales son asimilados por los animales acuáticos en la formación de sus tejidos (Ramme *et al.*, 2016).

Una vez que estos seres vivos mueren quedan depositados en los sedimentos de los fondos marinos. Finalmente, el CO₂ vuelve a la atmósfera durante las erupciones volcánicas al fusionarse en combustión las rocas con los restos de los seres vivos (Banerjee *et al.*, 2016).

En algunas ocasiones la materia orgánica queda sepultada sin producirse el contacto entre ésta y el oxígeno lo que evita la descomposición y, a través de la fermentación, provoca la transformación de esta materia en carbón, petróleo y gas natural(Ranjan *et al.*, 2015).

3.8 Producción humana de CO₂

Hemos visto, a grandes rasgos, el proceso que sigue el ciclo del carbono y que durante millones de años ha sido utilizado por la naturaleza para su equilibrio atmosférico y el mantenimiento de una temperatura cálida en el planeta(Sjors *et al.*, 2016).

Ahora bien, como todos sabemos, durante los últimos doscientos años, desde la Revolución Industrial y a causa de la combustión de combustibles fósiles y biomasa (petróleo, carbón, incendios, etc.), y la progresiva desaparición de los bosques encargados de asumir parte de ese CO₂, la emisión del dióxido de carbono junto con los otros gases (metano, óxidos de nitrógeno, ozono y clorofluorocarbonos) ha aumentado de forma sustancial y provocado un cambio en el equilibrio natural. Este aumento ha producido, de forma directa, el incremento de la temperatura global y la radicalización del Efecto Invernadero (Sun *et al.*, 2015).

La radiación solar de onda corta atraviesa la atmósfera de cualquier planeta siendo absorbida, en parte, por el suelo. Otra parte de la radiación queda en nuestra atmósfera gracias a la capa existente de gases como el CO₂. Por último, la cantidad restante y más grande, vuelve a salir al espacio convertida en una longitud de onda correspondiente a los rayos infrarrojos. Debido al aumento de los gases en la atmósfera de la tierra, gran parte de estos rayos no pueden

escapar al espacio en las cantidades de antaño permaneciendo en nuestra atmósfera y modificando su temperatura a la alza (Thurmond *et al.*, 2016).

Se estima que desde 1750 el aumento del dióxido de carbono en la atmósfera ha sido del 30%. En los últimos cien años, la Comisión Intergubernamental de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha estimado en 0,6 °C el aumento de la temperatura a nivel global. Esto ha provocado cambios en el nivel del mar, entre 0,1 y 0,2 m entre finales de la década de 1960 y 1990, la desaparición parcial de glaciares, el avance de la desertización en las zonas más cálidas y la disminución del hielo en los polos (Tollefson, 2016).

En relación al mundo iberoamericano, el aumento de las emisiones de CO₂ es moderado excepto en países como México y Brasil, países considerados emergentes. Vemos que actualmente, mucho nos tenemos, desarrollo es equivalente a mayor emisiones de CO₂ y otros gases efecto invernadero (Tollefson, 2016).

Normalmente, los productos contaminantes se encuentran mezclados en el aire. Su naturaleza es muy diversa, aunque algunos destacan por su elevada proporción en el aire o por sus efectos. Por otra parte muchos reaccionan entre sí o con las otras sustancias presentes en la atmósfera, como el vapor de agua, y originan nuevos contaminantes. Así diferenciamos los contaminantes primarios, emitidos directamente por una fuente, de los secundarios, producto de reacciones ulteriores (Wang *et al.*, 2013).

El tiempo que un contaminante permanece en el aire se conoce con el nombre de tiempo de residencia. Este tiempo es más o menos largo según el tipo de contaminante y el estado de la atmósfera. Para los gases, el tiempo de residencia depende de su capacidad de reacción, los más reactivos permanecen menos tiempo en el aire. Para las partículas depende de su medida (Weyant *et al.*, 2016).

Las unidades con las que se miden las partículas son microgramos de contaminante por metro cúbico. En el caso de los gases, las unidades son las partes por millón. Dentro de los compuestos de azufre, los óxidos se originan en

las combustiones de combustible fósiles que contienen azufre, como es el caso del carbón, el petróleo y algunos derivados. Las principales fuentes son las centrales térmicas, diversos procesos industriales, el tránsito automovilístico y ciertas calefacciones (Williamson, 2016).

Los óxidos de azufre más importantes por lo que respecta a la contaminación atmosférica son el dióxido de azufre, SO_2 y el trióxido de azufre, SO_3 . La emisión del trióxido es muy superior cuantitativamente a la del dióxido. Los dos se emiten conjuntamente y la proporción del segundo es de un 1% a un 5% del total (Cheah *et al.*, 2016).

El dióxido de azufre en altas concentraciones puede ser un gas irritante que provoca alteraciones en los ojos y en las vías respiratorias. En determinadas circunstancias, se producen reacciones químicas en las cuales este dióxido se puede transformar en trióxido. Por su parte, el trióxido de azufre no permanece mucho tiempo en la atmósfera, ya que es altamente higroscópico y en contacto con la humanidad se transforma en ácido sulfúrico. Este ácido arrastrado por el agua de lluvia tiene efectos corrosivos producidos por la lluvia ácida sobre los recursos naturales (Cheah *et al.*, 2016).

Los óxidos de nitrógeno forman un importante grupo de gases contaminantes. Aunque hay diversos, los más importantes, en cuanto a sus efectos contaminantes, son el dióxido de nitrógeno, NO_2 y el óxido nítrico, NO . La importancia del resto es menor ante estos dos. Los óxidos de nitrógeno se generan a causa de las altas temperaturas que se producen en los procesos de combustión. Las altas temperaturas permiten la combinación directa del oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera y se produce óxido nítrico. Este gas se oxida posteriormente y da dióxido de nitrógeno (Zachariah *et al.*, 2016).

Los óxidos de carbono son otra familia de contaminantes. Los principales son el monóxido de carbono, CO , y el dióxido de carbono, CO_2 . El monóxido de carbono se produce por la combustión incompleta de combustibles orgánicos, es

decir, en una situación de falta de oxígeno que imposibilita la oxidación completa a CO₂. Los máximos productores son los automóviles y los procesos en los que intervienen las combustiones (Cheah *et al.*, 2016).

El monóxido de carbono CO, es una sustancia altamente tóxica porque se combina con la hemoglobina de la sangre e impide el transporte de oxígeno a los tejidos, y por tanto la respiración. El dióxido de carbono es un gas que se encuentra normalmente en la atmósfera en una concentración media del 0,03%. Se produce de forma natural en la respiración de los seres vivos y en las combustiones. Se consume por la fotosíntesis de las plantas. Además el dióxido de carbono tiene una participación determinante en el calentamiento del planeta, ya que absorbe la radiación infrarroja proveniente del sol y de los océanos. Este fenómeno se conoce con el nombre de efecto invernadero (Zhang *et al.*, 2012).

Los hidrocarburos a elevadas concentraciones tienen efectos irritantes. La fuente más grande de producción de hidrocarburos es la natural. El metano es el contaminante que representa la mayor parte de esta producción (Zhang *et al.*, 2016).

La actividad humana, especialmente el tránsito de vehículos, algunos procesos de combustión de materia orgánica y también las refinerías de petróleo y los procesos que trabajan con disolventes producen una importante cantidad de hidrocarburos de diversos tipos. Los hidrocarburos pueden reaccionar con los óxidos de nitrógeno, bajo condiciones de fuerte radiación solar y producir la aparición del fenómeno de la niebla fotoquímica (Cheah *et al.*, 2016).

Los oxidantes a elevadas concentraciones son fuertemente irritantes y lacrimógenos, perjudican la vegetación y tienen la propiedad de agrietar el caucho en tensión, por ejemplo, los neumáticos de los automóviles (Zhu-Barker *et al.*, 2016).

Los oxidantes son el producto de las reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos y son considerados contaminantes secundarios, aquellos que no son directamente emitidos por una fuente emisora sino que se

forman en el propio aire. El principal oxidante es el ozono, pero hay otros, derivados de los hidrocarburos, como los nitroperóxidos de acilo conocidas por las siglas inglesas PAN. Aparecen en forma de niebla fotoquímica. Son clásicos de las zonas urbanas y los automóviles tienen un importante papel en su aparición (Cheah *et al.*, 2016).

Los compuestos halogenados con mayor incidencia sobre la calidad del aire son los compuestos de flúor, los de cloro y los freones, compuestos de cloro y flúor. Los compuestos de flúor son emitidos principalmente por las industrias de la cerámica, de aluminio y de vidrio (Firaha y Kirchner, 2016).

Ya que el flúor tiene un cierto papel en algunos procesos fisiológicos de los organismos, un aumento importante de su concentración puede tener consecuencias negativas, especialmente en los niños. Además al reaccionar con el vapor de agua, se forma el ácido fluorhídrico, que es muy corrosivo (Firaha y Kirchner, 2016).

Los compuestos de cloro son emitidos principalmente por la industria petroquímica, los procesos de combustión de materiales plásticos u otros que contengan cloro. Los freones son gases que se utilizan como propulsores de los aerosoles y en sistemas de refrigeración. Estos compuestos tienen efectos negativos sobre la capa de ozono y es por ello que se está limitando su uso (Firaha y Kirchner, 2016).

Entre los metales emitidos a la atmósfera con mayor incidencia tenemos: el plomo, el cadmio, el níquel, el hierro, el mercurio, el cromo, el cobre, el manganesio y el arsénico (Firaha y Kirchner, 2016).

Este fenómeno de contaminación se está reduciendo notablemente con el uso de vehículos que utilizan gasolina sin plomo (Firaha y Kirchner, 2016).

IV. MATERIALES Y METODOS

El actual trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa denominada Alimentos Balanceados Simón Bolívar S.A. de C.V., ubicada en el parque industrial Ferropuertos, en la Cd. de Torreón, Coahuila en el periodo comprendido entre los años de 2014, 2015 y 2016, con el objetivo de determinar la cantidad de bióxido de carbono (CO₂) emitido a la atmosfera por el proceso de combustión de gas natural, en equipos de generación de vapor, para tal efecto se evaluaron dos (2) calderas con capacidades de 400 y 300 (HP) caballos de potencia.



Ilustración 1 Empresa de Alimentos Balanceados Simón Bolívar S.A. de C.V.

4.1 Método utilizado para la medición de emisiones

Para la evaluación de los gases de combustión provenientes de las calderas, se determina que los procedimientos utilizados durante las mediciones, cumplen con las normas oficiales mexicana en vigor, presentándose a continuación una lista de los principales instrumentos empleados:

- Tubo de pitot, de 12” de longitud, tipo “L”. Empleado para la determinación de las velocidades de los gases en un ducto.
- Manómetro marca “Maghnelic” con rango de lecturas de 0 a 1 “C.A. para medición de presión dentro del ducto.
- Analizador de gases de combustión a base de celdas electroquímicas, marca Bacharach, modelo PCA3.

- Psicómetro de honda Taylor, para medir la concentración de humedad en los gases que fluye por un ducto.

4.2 Muestreo

Para el muestreo de los gases de combustión, se empleó un equipo denominado Bacharach, el cual opera a bases de celdas electroquímicas y da lecturas de los siguientes contaminantes, O₂%, CO₂% y CO ppm, las cuales se tomaron en una jornada normal de operación. Para el análisis de los gases de combustión, se coloca las sonda del equipo Bacharach dentro del ducto o chimenea por la cual la caldera o equipo de combustión emite los gases a la atmosfera.



Ilustración 2 Analizador de gases como el CO, O y CO₂.

4.3 Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

Las normas oficiales mexicanas que se tomaron de referencia para la medición de los gases de combustión, provenientes de las calderas, fueron las siguientes:

Caldera #1	Cleaver Brooks	(CB-295-400)	S/D	10.5 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²	Gas Natural	6,265 kg/hr	400 HP
Caldera #2	Cleaver Brooks	(CB-400-300)	MX-6803	10.5 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²	Gas Natural	4,599 kg/hr	300 HP

Tabla 1 Descripción de los equipos de combustión.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El objetivo de realizar una serie de mediciones de flujo, presiones, temperaturas y composición de los gases de salida en las chimeneas de los equipos de combustión (calderas) localizadas en la empresa, tiene como finalidad determinar, el cumplimiento de las emisiones de contaminantes a la atmosfera,

por combustión de combustibles líquidos o gaseosos, en fuentes fijas, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-2001.

5.1. Resultados.

Las lecturas de los gases de combustión en los equipos generadores de vapor, principalmente el contaminante de interés, el bióxido de carbono (CO₂), se obtuvieron a partir de lecturas directas en la fuente, para lo cual se empleó el equipo denominado Bacharach, las lecturas obtenidas se describen a continuación:

Equipo de Combustión	AÑO 2014 CO ₂ (%)	AÑO 2015 CO ₂ (%)	AÑO 2016 CO ₂ (%)
300 HP	5.2		6.5
	4.5		5.7
	4.2		6.9
400 HP	7.0	1.1	9.7
	8.7	1.3	12.5
	8.0	1.2	11.7

Tabla 2 Lecturas en porcentaje de bióxido de carbono tomadas de las calderas de 300 HP y 400 HP. Durante los años 2014, 2015, 2016.

5.1.1 Determinación de la cantidad de CO₂ emitido (Kg/s)

Para la determinación de la cantidad de CO₂ emitido por los equipos de combustión se aplicó la siguiente fórmula:

Gasto Molar del Contaminante = Gasto Molar del Gas X Concentración Molar del Contaminante en el Gas.

➤ Gasto molar en la caldera de 400 HP, año 2016;

Gasto Molar del Cont. = Gasto Molar del Gas X Conc. Molar del Cont. en el Gas

Primeramente se calcula el gasto molar del gas, mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{Gasto Molar del Gas} = V \cdot A \cdot \rho$$

Donde:

V= Velocidad del Gas

A= área del ducto = $\pi/4 (D)^2$

ρ = densidad del gas = 1.20 Kg/m³

Para el cálculo del gasto molar del gas, se consideraron los siguientes datos tomados en campo:

Diámetro del Ducto: 0.632 mts.

Velocidad salida del gas: 8.68 m/seg.

Sustituyendo los valores en la formula, se obtiene el siguiente resultado;

$$\text{G.M.G.} = (8.68 \text{ m/s}) ((3.1416/4)(0.632 \text{ m})^2) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = (8.68 \text{ m/s}) (0.7854 (0.3994 \text{ m}^2)) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = (8.68 \text{ m/s}) (0.3137 \text{ m}^2) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = 2.7229 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.20 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{G.M.G.} = 3.2674 \text{ Kg/s}$$

Concentración Molar del Contaminante en el Gas = Gasto Molar del Gas x Promedio del CO₂ = 3.2674 Kg/s X 11.3 = 36.9216 Kg/s

Gasto molar del contaminante = Concentración Molar del Contaminante en el Gas X Peso Molecular del CO₂ = 36.9216 Kg/s X 44 = 1,624.55 Kg/s

➤ **Gasto molar en la caldera de 300 HP, año 2016;**

Gasto Molar del Cont. = Gasto Molar del Gas X Conc. Molar del Cont. en el Gas

Primeramente se calcula el gasto molar del gas, mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$\text{Gasto Molar del Gas} = V \cdot A \cdot \rho$$

Donde:

V= Velocidad del Gas

$$A = \text{área del ducto} = \pi/4 (D)^2$$

$$\rho = \text{densidad del gas} = 1.20 \text{ Kg/m}^3$$

Para el cálculo del gasto molar del gas, se consideraron los siguientes datos tomados en campo:

Diámetro del Ducto: 0.53 mts

Velocidad salida del gas: 8.52 m/seg.

Sustituyendo los valores en la formula se obtiene el siguiente resultado;

$$\text{G.M.G.} = (8.52 \text{ m/s}) ((3.1416/4)(0.53 \text{ m})^2) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = (8.52 \text{ m/s}) (0.7854 (0.2809 \text{ m}^2)) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = (8.52 \text{ m/s}) (0.2206 \text{ m}^2) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = 1.8795 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.20 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{G.M.G.} = 2.2554 \text{ Kg/s}$$

Concentración Molar del Contaminante en el Gas = Gasto Molar del Gas x Promedio del CO₂ = 2.2554 Kg/s X 6.3 = 14.2090 Kg/s

Gasto molar del contaminante = Concentración Molar del Contaminante en el Gas X Peso Molecular del CO₂ = 14.2090 Kg/s X 44 = 625.196 Kg/s

➤ **Gasto molar en la caldera de 400 HP, el año 2015;**

Gasto Molar del Cont. = Gasto Molar del Gas X Conc. Molar del Cont. en el Gas

Primeramente se calcula el gasto molar del gas, mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$\text{Gasto Molar del Gas} = V \cdot A \cdot \rho$$

Donde:

V= Velocidad del Gas

$$A = \text{área del ducto} = \pi/4 (D)^2$$

$$\rho = \text{densidad del gas} = 1.20 \text{ Kg/m}^3$$

Para el cálculo del gasto molar del gas, se consideraron los siguientes datos tomados en campo:

Diámetro del Ducto: 0.25 mts

Velocidad salida del gas: 9.74 m/seg.

Sustituyendo los valores en la formula se obtiene el siguiente resultado;

$$\text{G.M.G.} = (9.74 \text{ m/s}) ((3.1416/4)(0.25 \text{ m})^2) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = (9.74 \text{ m/s}) (0.7854 (0.0625 \text{ m}^2)) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = (9.74 \text{ m/s}) (0.0491 \text{ m}^2) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = 0.4782 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.20 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{G.M.G.} = 0.5738 \text{ Kg/s}$$

Concentración Molar del Contaminante en el Gas = Gasto Molar del Gas x Promedio del CO₂ = 0.5738 Kg/s X 1.2 = 0.6885 Kg/s

Gasto molar del contaminante = Concentración Molar del Contaminante en el Gas X Peso Molecular del CO₂ = 0.6885 Kg/s X 44 = 30.294 Kg/s

➤ **Gasto molar en la caldera de 400 HP, año 2014;**

Gasto Molar del Cont. = Gasto Molar del Gas X Conc. Molar del Cont. en el Gas

Primeramente se calcula el gasto molar del gas, mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$\text{Gasto Molar del Gas} = V \cdot A \cdot \rho$$

Donde:

V= Velocidad del Gas

$$A = \text{área del ducto} = \pi/4 (D)^2$$

$$\rho = \text{densidad del gas} = 1.20 \text{ Kg/m}^3$$

Para el cálculo del gasto molar del gas, se consideraron los siguientes datos tomados en campo:

Diámetro del Ducto: 0.63 mts

Velocidad salida del gas: 8.44 m/seg.

Sustituyendo los valores en la formula se obtiene el siguiente resultado;

$$\text{G.M.G.} = (8.44 \text{ m/s}) ((3.1416/4)(0.63 \text{ m})^2) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = (8.44 \text{ m/s}) (0.7854 (0.3969 \text{ m}^2)) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = (8.44 \text{ m/s}) (0.3117 \text{ m}^2) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = 2.6307 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.20 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{G.M.G.} = 3.1568 \text{ Kg/s}$$

Concentración Molar del Contaminante en el Gas = Gasto Molar del Gas x Promedio del CO₂ = 3.1568 Kg/s X 7.9 = 24.9387 Kg/s

Gasto molar del contaminante = Concentración Molar del Contaminante en el Gas X Peso Molecular del CO₂ = 24.9387 Kg/s X 44 = 1,097.30 Kg/s

➤ **Gasto molar en la caldera de 300 HP, año 2014;**

Gasto Molar del Cont. = Gasto Molar del Gas X Conc. Molar del Cont. en el Gas

Primeramente, se calcula el gasto molar del gas, mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$\text{Gasto Molar del Gas} = V \cdot A \cdot \rho$$

Donde:

V= Velocidad del Gas

$$A = \text{área del ducto} = \pi/4 (D)^2$$

$$\rho = \text{densidad del gas} = 1.20 \text{ Kg/m}^3$$

Para el cálculo del gasto molar del gas, se consideraron los siguientes datos tomados en campo:

Diámetro del Ducto: 0.53 mts

Velocidad salida del gas: 6.41 m/seg.

Sustituyendo los valores en la formula se obtiene el siguiente resultado;

$$\text{G.M.G.} = (6.41 \text{ m/s}) ((3.1416/4)(0.53 \text{ m})^2) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = (6.41 \text{ m/s}) (0.7854 (0.2809 \text{ m}^2)) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = (6.41 \text{ m/s}) (0.2206 \text{ m}^2) (1.20 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\text{G.M.G.} = 1.4140 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.20 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{G.M.G.} = 1.6968 \text{ Kg/s}$$

Concentración Molar del Contaminante en el Gas = Gasto Molar del Gas x Promedio del CO₂ = 1.6968 Kg/s X 4.6 = 7.8052 Kg/s

Gasto molar del contaminante = Concentración Molar del Contaminante en el Gas X Peso Molecular del CO₂ = 7.8052 Kg/s X 44 = 343.42 Kg/s

La metodología utilizada para la comparación de los resultados del bióxido de carbono, obtenido en los equipos anteriormente señalados fue la metodología de diseño no experimental, determinando la media, la moda, la mediana y la varianza de los resultados.

Método estadístico	Caldera #1 Año 2016 (% CO₂)
Varianza	2.08
Moda	9.7, 12.5, 11.7
Media	11.3
Mediana	12.5

Tabla 3 Método estadístico de la caldera #1 del año 2016.

Método estadístico	Caldera #2 Año 2016 (% CO₂)
Varianza	0.38
Moda	6.5, 5.7, 6.9
Media	6.3
Mediana	5.7

Tabla 4 Método estadístico de la caldera #2 del año 2016.

Método estadístico	Caldera #1 Año 2015 (% CO₂)
Varianza	0.01
Moda	1.1, 1.3, 1.2
Media	1.2
Mediana	1.3

Tabla 5 Método estadístico de la caldera #1 del año 2015.

Método estadístico	Caldera #1 Año 2014 (% CO₂)
Varianza	0.73
Moda	7.0, 8.7, 8.0
Media	7.9
Mediana	8.7

Tabla 6 Método estadístico de la caldera #1 del año 2014.

Método estadístico	Caldera #2 Año 2014 (% CO₂)
Varianza	0.265
Moda	5.2, 4.5, 4.2
Media	4.6
Mediana	4.5

Tabla 7 Método estadístico de la caldera #2 del año 2014.

Las cantidades de bióxido de carbono emitidas por los equipos industriales son las siguientes:

Caldera #1 año 2016, 400 Hp

1, 624.55 Kg/s = 51, 231,808.8 Ton./año

1, 000,000 Ton./año = 1 Gt/año

51, 231,808.8 Ton./año = 51.23 Gt/año

1, 000,000 Ton./año

5.28 Gt/año ——— 0.19 ppm/año

51.23 Gt/año ——— 1.84 ppm/año

Caldera #2 año 2016, 300 Hp

625.196 Kg/s = 19, 716, 181.06 Ton./año

1, 000, 000 Ton./año = 1 Gt/año

19, 716, 181.06 Ton./año = 19.72 Gt/año

1, 000, 000 Ton./año

5.28 Gt/año ——— 0.19 ppm/año

19.72 Gt/año ——— 0.70 ppm/año

Caldera #1 año 2015, 400 Hp

30.294 Kg/s = 955, 351.584 Ton./año

1, 000, 000 Ton./año = 1 Gt/año

955, 351.584 Ton./año = 0.96 Gt/año

1, 000, 000 Ton./año

5.28 Gt/año ——— 0.19 ppm/año

0.96 Gt/año ——— 0.03 ppm/año

Caldera #1 año 2014, 400 Hp

1,097.30 Kg/s = 34, 604,452.8 Ton./año

1, 000,000 Ton./año = 1 Gt/año

34, 604,452.8 Ton./año = 34.60 Gt./año

1, 000,000 Ton./año

5.28 Gt/año ——— 0.19 ppm/año

34.60 Gt/año ——— 1.24 ppm/año

Caldera #2 año 2014, 300 Hp

343.42 Kg/s = 10, 830,093.12 Ton./año

1, 000,000 Ton./año = 1 Gt/año

10, 830,093.12 Ton./año = 10.83 Gt./año

1, 000,000 Ton./año

5.28 Gt/año ——— 0.19 ppm/año

10.83 Gt/año ——— 0.38 ppm/año

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Las emisiones que producen estos equipos industriales contribuyen de manera importante o significativa al aumento de los gases de efecto invernadero como lo

es el CO₂, de acuerdo a los resultados obtenidos, dichos equipos contribuyen con un aumento promedio de 0.70 ppm de este contaminante anualmente nivel local y por lo tanto, se considera que también contribuye al calentamiento global debido a la cantidad de gas de CO₂ que están emitiendo los equipos evaluados.

6.2 Recomendaciones

Los cambios en la abundancia de los gases de efecto invernadero y de los aerosoles atmosféricos así como en la radiación solar y en las propiedades de la superficie de la tierra alteran el balance de energía del sistema climático. Estos cambios se expresan en función del forzamiento radiactivo, que se emplea para comparar cómo una variedad de factores humanos y naturales influyen en el calentamiento o enfriamiento del clima global.

Desde el Tercer Informe de Evaluación, nuevas observaciones y modelizaciones de los gases de efecto invernadero, la actividad solar, las propiedades de la superficie de la Tierra y algunos aspectos de los aerosoles han mejorado las estimaciones cuantitativas del forzamiento radiactivo.

La principal causa del crecimiento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera desde la época preindustrial es el uso de combustibles fósiles. Las emisiones anuales de dióxido de carbono fósil aumentaron de una media de 6,4 [6,0 a 6,8] Gt C (23,5 [22,0 a 25,0] Gt CO₂) por año en los noventa a 7,2 [6,9 a 7,5] Gt C (26,4 [25,3 a 27,5] Gt CO₂) por año en 2000–2005 (los datos de 2004 y 2005 son estimaciones provisionales).

Se recomienda continuar con los estudios para tener un control de los gases de efecto invernadero y así tener una mejor calidad del ambiente.

VII. REFERENCIAS

Abualqumboz, M. S., A. Malakahmad y N. I. Mohammed 2016. "Greenhouse gas emissions estimation from proposed El Fukhary Landfill in the Gaza Strip." J Air Waste Manag Assoc 66: 597-608.

- Almeida, R. M., G. N. Nobrega, P. C. Junger, A. V. Figueiredo, A. S. Andrade, C. G. de Moura, D. Tonetta, E. S. Oliveira, Jr., F. Araujo, F. Rust, J. M. Pineiro-Guerra, J. R. Mendonca, Jr., L. R. Medeiros, L. Pinheiro, M. Miranda, M. R. Costa, M. L. Melo, R. L. Nobre, T. Benevides, F. Roland, J. de Klein, N. O. Barros, R. Mendonca, V. Becker, V. L. Huszar y S. Kosten 2016. "High Primary Production Contrasts with Intense Carbon Emission in a Eutrophic Tropical Reservoir." *Front Microbiol* 7: 717.
- Alshboul, Z. y A. Lorke 2015. "Carbon Dioxide Emissions from Reservoirs in the Lower Jordan Watershed." *PLoS One* 10: e0143381.
- Asepeyo 2015. "Instrumento de Medición y Muestreo." [http://www.formacionsh.asepeyo.es/contenidos/sh/DSH_MEDMUES_AIC/C/CONTENT/MEDIA/PDF/I1_0.PDF\(08/12/2015\)](http://www.formacionsh.asepeyo.es/contenidos/sh/DSH_MEDMUES_AIC/C/CONTENT/MEDIA/PDF/I1_0.PDF(08/12/2015)).
- Asumadu-Sarkodie, S. y P. A. Owusu 2016. "Carbon dioxide emissions, GDP, energy use, and population growth: a multivariate and causality analysis for Ghana, 1971-2013." *Environ Sci Pollut Res Int*.
- Attermeyer, K., S. Flury, R. Jayakumar, P. Fiener, K. Steger, V. Arya, F. Wilken, R. van Geldern y K. Premke 2016. "Invasive floating macrophytes reduce greenhouse gas emissions from a small tropical lake." *Sci Rep* 6: 20424.
- Banerjee, A., G. R. Dick, T. Yoshino y M. W. Kanan 2016. "Carbon dioxide utilization via carbonate-promoted C-H carboxylation." *Nature* 531: 215-9.
- Boulet, L. M., M. Stembridge, M. M. Tymko, J. C. Tremblay y G. E. Foster 2016. "The effects of graded changes in oxygen and carbon dioxide tension on coronary blood velocity independent of myocardial energy demand." *ajpheart*.00107.2016.
- Curtarelli, M. P., I. Ogashawara, C. A. de Araujo, J. A. Lorenzetti, J. A. Leao, E. Alcantara y J. L. Stech 2016. "Carbon dioxide emissions from Tucuruí reservoir (Amazon biome): New findings based on three-dimensional ecological model simulations." *Sci Total Environ* 551-552: 676-94.
- Cheah, W. Y., T. C. Ling, J. C. Juan, D. J. Lee, J. S. Chang y P. L. Show 2016. "Biorefineries of carbon dioxide: From carbon capture and storage (CCS) to bioenergies production." *Bioresour Technol*.

- Ding, L., Q. Lu, L. Xie, J. Liu, W. Cao, Z. Shi, B. Li, C. Wang, G. Zhang y S. Ren 2016. "Greenhouse gas emissions from dairy open lot and manure stockpile in northern China: A case study." *J Air Waste Manag Assoc* 66: 267-79.
- Firaha, D. S. y B. Kirchner 2016. "Tuning the Carbon Dioxide Absorption in Amino Acid Ionic Liquids."
- Genc, S., Z. Zadeoglulari, S. H. Fuss y K. Genc 2012. "The Adverse Effects of Air Pollution on the Nervous System." *Journal of Toxicology* 2012: 782462.
- Gonzales, G. F., A. Zevallos, C. Gonzales-Castañeda, D. Nuñez, C. Gastañaga, C. Cabezas, L. Naeher, K. Levy y K. Steenland 2014. "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL, VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO: UNA REVISIÓN DEL IMPACTO EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN PERUANA." *Revista peruana de medicina experimental y salud publica* 31: 547-556.
- Kajimura, M., R. Fukuda, R. M. Bateman, T. Yamamoto y M. Suematsu 2010. "Interactions of Multiple Gas-Transducing Systems: Hallmarks and Uncertainties of CO, NO, and H₂S Gas Biology." *Antioxidants & Redox Signaling* 13: 157-192.
- Kawi, S., Y. Kathiraser, J. Ni, U. Oemar, Z. Li y E. T. Saw 2015. "Progress in Synthesis of Highly Active and Stable Nickel-Based Catalysts for Carbon Dioxide Reforming of Methane." *ChemSusChem* 8: 3556-75.
- Li, J., H. S. Wu, Z. Q. Gao, X. X. Shang, P. H. Zheng, J. Yin, D. Kakpa, Q. Q. Ren, O. K. Faustin, S. Y. Chen, Y. Xu, T. Y. Yao, W. Ji, J. S. Qian y S. J. Ma 2015. "[Impact of Phosphogypsum Wastes on the Wheat Growth and CO₂ Emissions and Evaluation of Economic-environmental Benefit]." *Huan Jing Ke Xue* 36: 3099-105.
- Liang, L. L., D. A. Grantz y G. D. Jenerette 2016. "Multivariate regulation of soil CO₂ and N₂O pulse emissions from agricultural soils." *Glob Chang Biol* 22: 1286-98.

- Lim, S. H., L. Feng, J. W. Kemling, C. J. Musto y K. S. Suslick 2009. "An Optoelectronic Nose for Detection of Toxic Gases." *Nature chemistry* 1: 562-567.
- Liu, J., B. Zhang, H. Lei, Z. Feng, J. Liu, A.-L. Hsu y X. Z. Shawn Xu 2013. "Functional aging in the nervous system contributes to age-dependent motor activity decline in *C. elegans*." *Cell metabolism* 18: 10.1016/j.cmet.2013.08.007.
- Maguire, C. A., S. H. Ramirez, S. F. Merkel, M. Sena-Esteves y X. O. Breakefield 2014. "Gene Therapy for the Nervous System: Challenges and New Strategies." *Neurotherapeutics* 11: 817-839.
- Mellbye, B. L., A. Giguere, F. Chaplen, P. J. Bottomley y L. A. Sayavedra-Soto 2016. "Steady-State Growth under Inorganic Carbon Limitation Conditions Increases Energy Consumption for Maintenance and Enhances Nitrous Oxide Production in *Nitrosomonas europaea*." *Appl Environ Microbiol* 82: 3310-8.
- Mugler, J. P., T. A. Altes, I. C. Ruset, I. M. Dregely, J. F. Mata, G. W. Miller, S. Ketel, J. Ketel, F. W. Hersman y K. Ruppert 2010. "Simultaneous magnetic resonance imaging of ventilation distribution and gas uptake in the human lung using hyperpolarized xenon-129." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107: 21707-21712.
- Naims, H. 2016. "Economics of carbon dioxide capture and utilization-a supply and demand perspective." *Environ Sci Pollut Res Int*.
- Nobrega, G. N., T. O. Ferreira, M. Siqueira Neto, H. M. Queiroz, A. G. Artur, S. Mendonca Ede, O. Silva Ede y X. L. Otero 2016. "Edaphic factors controlling summer (rainy season) greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) from semiarid mangrove soils (NE-Brazil)." *Sci Total Environ* 542: 685-93.
- Ramme, A. J., E. Iturrate, E. Dweck, D. J. Steiger, L. H. Hutzler, Y. Fang, B. Wang, J. A. Bosco y A. E. Sigmund 2016. "End Tidal Carbon Dioxide as a Screening Tool for Computed Tomography Angiogram in Postoperative Orthopaedic Patients Suspected of Pulmonary Embolism." *J Arthroplasty*.

- Ranjan, R., J. Olson, P. Singh, E. D. Lorance, D. A. Buttry y I. R. Gould 2015. "Reversible Electrochemical Trapping of Carbon Dioxide Using 4,4'-Bipyridine That Does Not Require Thermal Activation." *J Phys Chem Lett* 6: 4943-6.
- Sjors, C., S. E. Raposo, A. Sjolander, O. Balter, F. Hedenus y K. Balter 2016. "Diet-related greenhouse gas emissions assessed by a food frequency questionnaire and validated using 7-day weighed food records." *Environ Health* 15: 15.
- Sun, S. J., P. Meng, J. S. Zhang, J. H. Shu y N. Zheng 2015. "[Differences and sources of CO₂ concentration, carbon and oxygen stable isotope composition between inside and outside of a green space system and influencing factors in an urban area]." *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 26: 3000-10.
- Thurmond, K., Z. Loparo, W. Partridge y S. S. Vasu 2016. "A Light-Emitting Diode-(LED-) Based Absorption Sensor for Simultaneous Detection of Carbon Monoxide and Carbon Dioxide." *Appl Spectrosc* 70: 962-71.
- Tollefson, J. 2016. "China's carbon emissions could peak sooner than forecast." *Nature* 531: 425-6.
- Wang, Q., L. Xie, B. Zhu, Y. Zheng y S. Cao 2013. "Harmful Gas Recognition Exploiting a CTL Sensor Array." *Sensors (Basel, Switzerland)* 13: 13509-13520.
- Weyant, C. L., P. B. Shepson, R. Subramanian, M. O. Cambaliza, A. Heimbürger, D. McCabe, E. Baum, B. H. Stirm y T. C. Bond 2016. "Black Carbon Emissions from Associated Natural Gas Flaring." *Environ Sci Technol* 50: 2075-81.
- Williamson, P. 2016. "Emissions reduction: Scrutinize CO₂ removal methods." *Nature* 530: 153-5.
- Witter, R. Z., L. Tenney, S. Clark y L. S. Newman 2014. "Occupational Exposures in the Oil and Gas Extraction Industry: State of the Science and Research Recommendations." *American journal of industrial medicine* 57: 847-856.

- Zachariah, E. J., B. Sabulal, D. N. Nair, A. J. Johnson y C. S. Kumar 2016. "Carbon dioxide emission from bamboo culms." *Plant Biol (Stuttg)* 18: 400-5.
- Zhang, H., B. Chen, C. Zhao y W. Zhuo 2012. "A new technique for measuring the concentrations of airborne radon progeny by using an imaging plate." *Radiat Prot Dosimetry* 152: 109-13.
- Zhang, J. F., S. Q. Pan, X. L. Lin, P. B. Hu y Z. M. Chen 2016. "[Research on On-Line Calibration Based Photoacoustic Spectrometry System for Monitoring the Concentration of CO₂ in Atmosphere]." *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi* 36: 1-5.
- Zhu-Barker, X., M. Burger, W. R. Horwath y P. G. Green 2016. "Direct green waste land application: How to reduce its impacts on greenhouse gas and volatile organic compound emissions?" *Waste Manag* 52: 318-25.