



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

FORZAMIENTO CLIMÁTICO ENERGÉTICO DE LA
ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

F Í S I C O

PRESENTA :

SERGIO TORRES LANDA GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS :

M. EN C. MANUEL RENÉ DE JESÚS GARDUÑO
LÓPEZ

Centro de Ciencias de la Atmósfera

Ciudad Universitaria, CDMX.
JUNIO DE 2019





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno
Torres Landa
González
Sergio
55 10 80 51 73
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Física
413090768
2. Datos del tutor
M. en C. Manuel René de Jesús
Garduño
López
3. Datos del sinodal 1
Dr. Jorge Antonio
Montemayor
Aldrete
4. Datos del sinodal 2
Dra. Susana
Orozco
Segovia
5. Datos del sinodal 3
M. en C. Xochitl
Cruz
Nuñez
6. Datos del sinodal 4
Dr. David
Riveros
Rosas
7. Datos del trabajo escrito
Forzamiento Climático Energético de la Zona Metropolitana del Valle de México
62 p.
2019

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	5
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Objetivo.....	6
1.3 Planteamiento del problema	6
1.4 Hipótesis de trabajo.....	7
1.4.1 FCE.....	7
1.4.2 Ámbito geográfico.....	7
1.4.3 GEI en la atmósfera.....	7
1.4.4 Disipación de la energía.....	8
1.5 Transferencia de calor.....	10
2. Gases de efecto invernadero (GEI).....	11
2.1 Dióxido de carbono (CO ₂).....	14
2.2 Metano (CH ₄).....	15
2.3 CO ₂ equivalente (CO ₂ e).....	16
2.4 Huella de carbono.....	17
2.5 CO ₂ y CH ₄ en la atmósfera.....	17
3. Forzamiento radiativo (IPCC).....	20
4. Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).....	21
5. Quema de combustibles fósiles.....	22
5.1 Emisión de CO ₂	23
5.1.1 Gasolinas.....	23
5.1.2 Diésel.....	23
5.1.3 Gas Natural.....	23
5.1.4 Gas LP.....	23
5.2 Calor cedido al ambiente	23
5.2.1 Gasolinas.....	23
5.2.2 Diésel.....	24
5.2.3 Gas Natural.....	24
5.2.4 Gas LP.....	24
6. Electricidad.....	24
6.1 Calor cedido al ambiente por el consumo de la energía carbo y termoeléctrica	24
6.2 Emisiones de CO ₂ e por la producción de energía carbo y termoeléctrica.....	24
6.3 Calor cedido al ambiente por la producción de energía carbo y termoeléctrica.....	25
6.4 Calor cedido al ambiente por el consumo de la energía hidroeléctrica.....	26
6.5 Emisiones de CO ₂ e por la producción de energía hidroeléctrica.....	26
7. Agua entubada.....	27
7.1 Sistema Cutzamala.....	28
7.2 Gasto energético de bombeo.....	28
7.3 Emisión de CO ₂ e y calor cedido al ambiente por la producción de la energía empleada en el suministro de agua entubada.....	29
8. Organismos vivos.....	29
8.1 Calor cedido al ambiente por presencia humana	29
8.2 Calor cedido al ambiente por presencia de vida animal doméstica.....	30

8.3 Emisiones de CO ₂ e por la degradación de la materia orgánica humana y animal.....	31
9. Basura inorgánica	32
10. Alimentos de origen animal	33
10.1 Emisiones de CO ₂ e por el consumo	33
10.1.1 Huella de Carbono.....	33
10.1.2 Consumo de carne de res, puerco y pollo.....	34
10.1.3 Consumo de borrego, leche, huevo y queso.....	34
10.2 Emisiones de CO ₂ por el transporte	35
10.2.1 Emisión de CO ₂ por el transporte de cárnicos de origen nacional.....	37
10.2.2 Emisión de CO ₂ por el transporte de cárnicos importados.....	39
10.3 Calor cedido al ambiente por el transporte.....	41
11. Alimentos de origen vegetal.....	41
11.1 Emisiones de CO ₂ e por el consumo	41
11.1.1 Arroz.....	41
11.1.2 Legumbres.....	42
11.1.3 Azúcar.....	42
11.1.4 Maíz.....	43
11.1.5 Trigo.....	43
11.1.6 Otros Vegetales.....	43
11.2 Emisiones de CO ₂ por el transporte	44
11.3 Calor cedido al ambiente por el transporte	44
12. Agua embotellada	45
12.1 Emisiones de CO ₂ e por el consumo.....	45
12.2 Emisiones de CO ₂ por el transporte.....	45
12.3 Calor cedido al ambiente por el transporte.....	65
13. Refrescos	46
13.1 Emisiones de CO ₂ e por el consumo	46
13.2 Emisiones de CO ₂ por el transporte	47
13.3 Calor cedido al ambiente por el transporte.....	48
14. Cerveza.....	48
14.1 Emisiones de CO ₂ e por el consumo	48
14.2 Emisiones de CO ₂ por el transporte.....	49
14.3 Calor cedido al ambiente por el transporte	50
15. Tabla de Resultados.....	51
16. Cálculo del Forzamiento Energético.....	52
16.1 Forzamiento energético por calor cedido.....	52
16.2 Forzamiento energético por emisión de GEI.....	52
17. Discusión y conclusiones.....	54
17.1 Transporte.....	54
17.2 Electricidad.....	55
17.3 Alimentos.....	56
17.4 Bebidas.....	57
17.5 Basura.....	58
17.6 Tabla de los principales forzadores.....	58

Resumen:

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el Forzamiento Climático Energético (FCE) (radiativo, conductivo y convectivo) producido como consecuencia de la energía térmica cedida al ambiente (forzamiento directo) y los gases de efecto invernadero (GEI) (forzamiento indirecto) emitidos por las actividades de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Para esto, se contabilizaron las emisiones de GEI y la liberación de calor al ambiente, atribuidas a los consumos, actividades cotidianas y a la presencia en general del ser humano en esta región. Para el forzamiento directo se obtuvo un valor de $FCE = 6.2 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$ mientras que para el forzamiento indirecto se obtuvo el valor de $FCE = 2.6 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$ dejándose de manifiesto el impacto ambiental que tienen las emisiones de GEI respecto al problema de calentamiento global al que se enfrenta la humanidad en la actualidad. Se encontró que solo las emisiones anuales de GEI de la zona representan un 0.4% de las emisiones anuales a nivel mundial, mientras que el factor de población correspondiente zona-mundo es de aproximadamente 0.3%. Estos resultados pretenden causar una motivación en el capitalino para reducir, o cambiar sus actividades y consumos propios, de tal manera que pueda contribuir positivamente a los fenómenos de cambio climático y contaminación que se están produciendo globalmente en la actualidad.

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El Cambio Climático Global (CCG) actual de origen antropógeno consiste primordialmente en un aumento de temperatura, T , del Sistema Climático (SC). Este sistema climático se considera formado por cinco elementos: la atmósfera (capa gaseosa que envuelve a la Tierra), la hidrosfera (el agua dulce y salada en estado líquido), la criosfera (el agua en estado sólido), la litosfera (el suelo) y la biosfera (el conjunto de seres vivos que habitan la Tierra) [86]. Este aumento de temperatura es atribuido a una diferencia del flujo energético (ΔE por unidad de tiempo y área) en el tope de la atmósfera en un periodo de 200 años. Este flujo transporta energía desde la troposfera hacia la superficie terrestre, y resulta del incremento del *Efecto Invernadero* (EI). En otras palabras, este flujo energético es la energía transportada por la radiación electromagnética (de onda larga) emitida por la atmósfera hacia la superficie terrestre. Este flujo se atribuye a las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (GEI) que, al aumentar su concentración en la atmósfera, se vuelven responsables del incremento de la absorción y re-emisión de esta radiación causando así el famoso incremento en la temperatura del planeta medido actualmente y comúnmente llamado “calentamiento global” [1].

Es importante señalar que ΔE es llamado por el IPCC [1] *forzamiento climático antropógeno* o *forzamiento radiativo (FR)*; calculado por el efecto radiante de los GEI y otras aportaciones indirectas a este flujo energético (Figura 9). Sin embargo, estos dos conceptos no deberían significar lo mismo, ya que el *forzamiento climático* neto debe incluir la transferencia de calor de tipo conductivo. Esto incluye la inyección de calor a la atmósfera por el contacto con maquinaria, aparatos eléctricos, seres vivos, etc. que están a una temperatura mayor que ella. Por este motivo, al valor estimado a lo largo de este trabajo se le llamará *forzamiento climático energético* (FCE). Este FCE contempla la transferencia de calor al ambiente de tipo conductivo, llamándose *forzamiento directo* y la transferencia de calor atribuida al efecto radiativo de los GEI, llamándose *forzamiento indirecto*.

1.2 Objetivo

Estimar el FCE antropógeno sobre el clima atribuido a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) caracterizando los consumos de sus habitantes y estimando su respectiva emisión de GEI y liberación de calor directa al ambiente.

1.3 Planteamiento del problema

A la luz de los tres tipos de transferencia de calor y considerando el sistema estudiado al Sistema Climático (SC) será necesario definir y caracterizar el concepto físico de *Forzamiento Climático Energético (FCE)* y sus componentes: directa (forzamiento de tipo conductivo por calor cedido) e indirecta (forzamiento de tipo radiativo por emisión de GEI). Para ello, se necesitará, primeramente, revisar y discutir las definiciones del *Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC) [1]* al respecto, y posteriormente, estimar las emisiones de GEI y el calor cedido (liberación de calor directamente al ambiente) atribuido a las diversas actividades y consumos de los habitantes de la ZMVM. Así mismo, será necesario recopilar, revisar, depurar y sistematizar la mayor cantidad de información disponible al respecto, y dependiendo de la investigación bibliográfica, evaluar deductivamente los principales forzadores con base en cifras macro de consumo o bien inductivamente con cifras de estimaciones individuales o “per cápita”, definiendo y caracterizando al habitante promedio con sus consumos individuales en cuanto a bienes y servicios (alimentación, salud, aseo, vivienda, trabajo, transporte, mascotas, etc.). De ser posible, se abordarán ambos enfoques para cotejar los resultados.

Algunos datos de investigación pueden estar en unidades del sistema inglés, sin embargo, todos los resultados parciales y resultados serán presentados en unidades del sistema internacional (mks) siendo la primera columna de la Tabla de Resultados exhibida en unidades de potencia (kWh/año) (*forzamiento directo*) y la segunda en unidades de la masa total de las emisiones anuales de CO₂ equivalente (kgCO₂e/año) (*forzamiento indirecto*). Todas las variables extensivas se tomarán en el periodo de 1 año.

Es importante mencionar, que a lo largo de este trabajo se evalúa el costo de producir y llevar los bienes y servicios que consume la Zona. Esto incluye su huella de carbono, transformándose el CO₂e en FR, suponiendo el efecto invernadero del aumento de concentración de CO₂ asociado a las emisiones de ese CO₂e; pero también incluye la inyección de calor directa a la atmósfera debida a esos procesos de producción y transporte y procesamiento doméstico.

Este costo energético implica un insumo continuo y permanente, o sea un *gasto de operación* (para mantener funcionando esos sistemas productivos). Adicionalmente, está la *inversión inicial* para construir la infraestructura (instalaciones y equipo) asociada; p.ej., la construcción y puesta en marcha de las plantas hidro, carbo y termoeléctricas, y las líneas de conducción y distribución hasta los usuarios; el costo de las carreteras y los camiones que circulan por ellas; las plantas de almacenamiento, bombeo y potabilización del agua, y las tuberías para llevarla hasta el consumidor; etc. Esta inversión inicial, evaluada generalmente en pesos de la época (y excluyendo los costos no monetarios, como los impactos ecológicos y sociales, que según la época son o no considerados valiosos) y prorrateada a toda la vida útil de ese sistema productivo, no se toma en cuenta, como costo energético o FCE; sólo se considera este costo o forzamiento asociado al gasto de mantenimiento.

Notación importante respecto a datos y cálculos. - Con el fin de facilitar el seguimiento de los cálculos y las estimaciones desde los datos y las cifras investigadas, hasta los resultados finales, incluidos en la Tabla de Resultados (cap. 15), los datos investigados tendrán un formato de letra normal, cálculos, cifras relevantes y resultados parciales contarán con un formato de negritas y los resultados finales que van a la Tabla tendrán formato de negritas subrayadas. Para datos investigados y resultados parciales, se tomarán tres cifras significativas y para resultados finales serán tomadas solo dos, despreciándose cualquier resultado parcial que contribuya al resultado final en menos de un orden de magnitud.

1.4 Hipótesis de trabajo

1.4.1 Forzamiento climático energético

El FCE es el forzamiento energético al sistema climático y medio ambiente, tiene una componente directa debida a la transferencia de calor por conducción: *forzamiento climático conductivo* (FCC) y una componente indirecta debida a la transferencia de calor en forma de radiación por la presencia de GEI en la atmósfera: *forzamiento climático radiativo* (FCR). Es importante no confundir este concepto con lo que el IPCC denomina ERF (Effective radiative forcing) [1].

1.4.2 Ámbito geográfico

El ámbito geográfico a estudiar será la Zona Metropolitana del Valle de México (definida en el capítulo 4) sin atender la división política dado que dicha zona es un continuo urbano y se despreciarán las diferencias en las actividades que tiene la CDMX en contraste con las que ocurren en los municipios conurbados del Edo, de México (p. ej. que la CDMX tiene ya escasa industria que es gran emisora de GEI). El objeto de estudio a estimar será el FCE *provocado* por los habitantes de la zona, y no el que ésta *sufre* ni el atribuido a las actividades que ocurren únicamente dentro de ella. Es decir que las contribuciones al FCE se tomarán a partir de los *consumos* de la zona sin tomar en cuenta lo que ésta *produce*. Se considerarán entonces, liberación de calor y emisiones de GEI que suceden físicamente dentro de la zona (presencia de seres humanos p. ej) fuera de la zona (generación de energía eléctrica p. ej.) o incluso fuera del país (emisiones atribuidas a algunos alimentos importados p. ej.).

1.4.3 GEI en la atmósfera

La capa de la atmósfera con la que se trabaja es la troposfera (primeros 10 km sobre el nivel del mar), ya que la concentración de GEI se encuentra mayoritariamente en ella y es donde ocurren los procesos de absorción y emisión de onda larga que contribuyen al efecto invernadero.

Es importante señalar que no es lo mismo hablar de *emisión* de GEI a la atmósfera que de *concentración* de GEI en ella. Ya que no todo el CO₂ (y otros GEI) que se emiten se quedan en la atmósfera, muchos de estos compuestos son absorbidos por el océano y otros elementos del sistema climático, algunos logran salir más allá de la troposfera y el CO₂ principalmente es absorbido por la vegetación (fijación). Según estimaciones del IPCC, solamente el océano absorbe el 25% del CO₂ emitido a nivel mundial. Esto provoca la acidificación del mar a velocidades sin precedentes en 300 millones de años [76].

No obstante, este factor no será tomado en cuenta y se dará por hecho que el 100% de los GEI emitidos se concentran en la atmósfera. Se supondrá que este error sistemático o excedente en el valor real de la concentración de GEI atmosféricos, se compensa con el faltante que surge de todas las actividades y

consumos que no sean tomados en consideración o para las cuales no se hayan encontrado datos o información fidedigna.

1.4.4 Disipación de la energía

En gran parte del presente trabajo, se tendrá la aproximación de que toda la energía consumida (combustibles, electricidad, etc.) tendrá una muerte térmica, es decir, será disipada en forma de calor causando un aumento de temperatura neto del ambiente. Esto parecería en primera instancia ser una contradicción de la segunda ley de la termodinámica la cual estipula que, al invertirse energía de fuentes térmicas a alta temperatura para realizar un trabajo, existirá una transferencia de dicha energía en forma de calor a fuentes térmicas con temperaturas más bajas por lo que solo una parte de la energía invertida podrá aprovecharse para realizar el trabajo deseado. La cantidad de energía aprovechada y el calor transferido (en este caso a la atmósfera y que es disipado en la misma) dependen directamente del factor de eficiencia de la máquina o motor en cuestión, el cual toma valores siempre mayores a 0 y menores que 1. Esto se debe a que un motor con eficiencia 0 sería inútil, y toda la energía empleada se disiparía en forma de calor sin la capacidad de realizar ningún trabajo. Por otro lado, también es imposible que un motor tenga eficiencia igual a uno pues esto significaría que el 100% de la energía invertida se ha convertido en trabajo y esto sería una violación a la segunda ley de la termodinámica. Por otro lado, la primera ley de la termodinámica, que es una ley de conservación de la energía que incluye el calor y el trabajo termodinámico determina que la energía interna de un sistema aumenta cuando se le transfiere calor o se realiza un trabajo sobre él. Con la siguiente forma matemática.

$$\Delta U = Q + W$$

Donde ΔU representa la energía interna del sistema, esto es, en el caso de un gas, la energía cinética de las moléculas y la energía potencial interna resultante de las fuerzas intermoleculares, Q el calor transferido y W el trabajo realizado sobre él. Para el caso de los motores de combustión interna que consumen gasolina, utilizados en el autotransporte de pasajeros y/o mercancías, la representación ideal de su funcionamiento, sin considerar que en el ciclo real ocurren procesos irreversibles, corresponde al esquema termodinámico que tiene un Ciclo Otto (motor de combustión interna del ciclo de la gasolina) de cuatro tiempos en un diagrama PV:

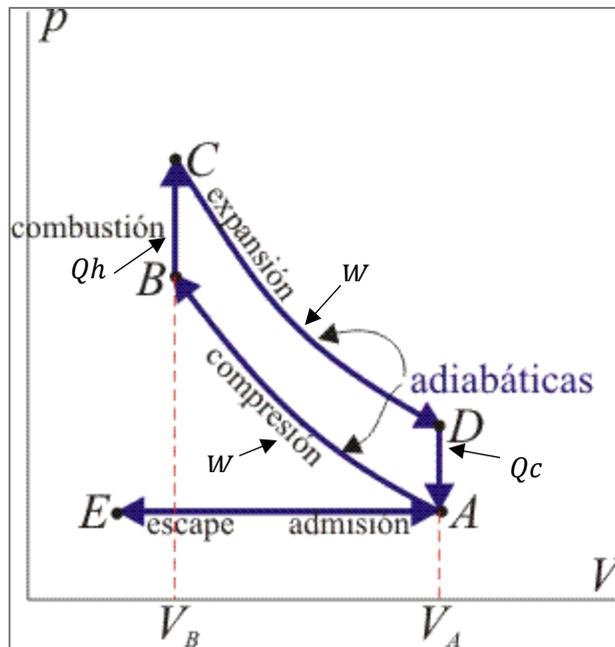


Figura1. Esquema de un ciclo Otto de 4 tiempos en un diagrama PV
Wikipedia, 2018 [85]

Lo importante a rescatar de este esquema es que la energía denotada como Q_h que se invierte con el fin de realizar un trabajo " W ", tendrá como resultado una disipación de una parte de esta energía en forma de calor " Q_c " hacia la atmósfera y un aprovechamiento de la misma en forma de trabajo efectivo. Como el cambio en la energía interna del sistema durante el ciclo es cero, lo anterior se expresa de la siguiente forma.

$$|W| = |Q_h| - |Q_c|$$

Donde Q_h representa la energía invertida, Q_c el calor disipado y W el trabajo neto realizado en cada ciclo. En los motores de combustión interna el ciclo se repite continuamente, consumiendo en cada uno de ellos una cierta cantidad de combustible que, al explotar, proporciona la energía que sirve que los dispositivos que componen el motor realicen trabajo y transmitan el movimiento a las componentes mecánicas del vehículo. Es necesario aclarar que, en el ciclo real, el sistema con el que opera el ciclo (el vapor de gasolina) no es ideal, y que no se conserva la cantidad de vapor de gasolina en los cilindros durante todo el ciclo, sino que en cada uno de estos ciclos los residuos de la combustión junto con el calor son expulsados hacia la atmósfera. Esto es representado en los procesos de D a A, y de A a E en la Figura 1. El funcionamiento de los vehículos que consumen combustible diésel, se representa con el ciclo Diesel distinto al ciclo de Otto, pero que esencialmente opera de la forma anteriormente descrita. Generalmente este trabajo neto representa aproximadamente el 30% de la energía total consumida por este sistema y en estos casos, se utilizará este factor de eficiencia (30%) al final de cada sección (o subsección) para corregir los resultados obtenidos a fin de guardar precisión en nuestras estimaciones.

La primera ley de la termodinámica es una ley de la conservación de la energía y no tan solo se refiere al caso mecánico, sino al magnético, cuando se magnetiza un material magnético; al eléctrico cuando se polariza un material dieléctrico; al químico cuando cambian el número de componentes de las distintas especies de un sistema; en economía también se puede definir una cantidad equivalente para los flujos

económicos, en todos estos casos el calor en términos de su expresión diferencial es δS , donde δS , es la diferencial de la entropía. Si se trata de entender el problema considerando el caso de la mecánica de una partícula, lo que resulta una simplificación que trivializa el problema que se está tratando de abordar y suponiendo que toda la energía que proporciona el consumo del combustible, lo que hace es cambiar el estado de movimiento de la partícula del reposo a una velocidad constante, en términos de la segunda ley de Newton, el impulso, con lo que la partícula adquiere una energía cinética, si por el efecto de una fuerza no conservativa, la partícula llega al reposo.

Siguiendo con la defensa de esta hipótesis de trabajo, parecería contradictorio entonces decir (sin tomar en cuenta la termodinámica) que toda la energía invertida en algún proceso (transporte, iluminación, alimentación, etc.) se disipa en forma de calor, sin embargo, por la ley de la conservación de la energía y considerando la mecánica de una partícula, solo en los casos en los que el trabajo realizado no genera un cambio en la energía potencial del sistema, se encuentra que esto es una buena aproximación, ya que la energía disipada en forma de calor en cada uno de los procesos a analizar representa (en la mayoría de los casos) más del 70 % de la energía total invertida (por su factor de eficiencia y disipaciones posteriores). Otra forma sencilla de entenderse esto, es diciendo que el trabajo realizado efectivo, que no se disipó en forma de calor, (por ejemplo, durante el movimiento de un vehículo sobre la carretera), por la primera ley se tiene que, necesariamente se habrá aumentado la energía interna de este nuevo sistema (carretera, vehículo, aire, etc.) Para ilustrar esto se analizará brevemente el movimiento de un vehículo con un motor de combustión interna y se verá qué formas toma la energía empleada en dicho trabajo.

Para ilustrar lo anterior, supongase que se invierte 1MJ de energía para mover con un vehículo de carga una tonelada de cobre a lo largo de dos kilómetros. Suponiendo un factor de eficiencia promedio de un motor de gasolina o diésel de 0.3 (o 30%) entonces se tendría que 0.7MJ de esta energía será desperdiciada en calor disipado (durante la combustión del hidrocarburo empleado) y solo 0.3MJ serán efectivos para realizar el trabajo deseado (energía de movimiento). Esto ya revela que por lo menos el 70% de la energía invertida en un trabajo se disipa efectivamente en calor. Posteriormente se puede identificar que, durante el movimiento del vehículo, una parte de la energía que representa este trabajo (W) se ve reflejada en su energía cinética (velocidad) y otra parte se está disipando en forma de calor por la fricción del vehículo con los alrededores y entre sus mismos componentes (llantas rozando la carretera, carrocería en fricción con el aire del ambiente, engranes del vehículo rozando con sus ejes, etc.) Los valores que pueda tomar esta energía cinética y la mencionada disipación de calor (de segundo orden) dependerá únicamente de la forma del vehículo (que sea aerodinámico) y que esté bien aceitado (para reducir fricción interna). Las eficiencias de los vehículos nuevos que proporcionan las compañías que los fabrican ya toman en cuenta, todos estos factores. Los vehículos en mal estado con componentes gastados consumirán más combustible para realizar el mismo recorrido que los vehículos en buen estado.

Finalmente, después que el ciclo en el que funciona el motor consumiendo combustible, realizando trabajo termodinámico y transfiriendo calor al medio ambiente, se repite innumerables veces, este vehículo se tiene que detener, y ya sea que se le apliquen los frenos o se reduzca la velocidad naturalmente por la fricción con los alrededores, la energía que le proporcionó, la última cantidad del combustible que consumió en el último ciclo que realizó, el trabajo que se produjo y que hizo que se movieran sus componentes mecánicas, esta energía cinética se transforma en calor por las fuerzas (y sus correspondientes fricciones) empleadas para reducir su velocidad. También el vehículo se detiene si se queda sin combustible que le proporcione energía para realizar el trabajo.

Olvidando que las leyes de la termodinámica se aplican a sistemas muy grandes de partículas (del orden de 10^{23} partículas y que la primera ley de la termodinámica es una ley general de la conservación de la energía y tomando el modelo de una partícula puntual. En el caso de que el trabajo realizado, le otorgue al cuerpo un aumento en su energía potencial, no se puede decir que toda la energía se disipa en forma de calor. Por ejemplo, si se lleva una tonelada de pescado desde Acapulco hasta la CDMX, entonces dicha tonelada (y el vehículo utilizado para transportarla) se habrá elevado una altura de 2,250 metros sobre el nivel del mar. Este proceso le concedería a dicha tonelada una energía potencial de 22.5 MJ energía que ha sido extraída de la energía inicial invertida y de ninguna forma ha sido disipada en forma de calor. Sin embargo, si se considera que la energía necesaria para transportar 1 tonelada de pescado por 400km (que hay entre CDMX y Acapulco) es de aproximadamente 222 MJ [58]. Entonces se puede ver que en el peor de los casos (un transporte a la CDMX desde el nivel del mar) esta energía potencial que no ha sido disipada en forma de calor, representa cerca del 10% del resto de la energía invertida (que si será disipada). Esto permite nuevamente despreciar este fenómeno ya que en ningún caso nuestros resultados se verán afectados significativamente por este porcentaje de error.

Sólo en los casos en los que se cuente con un factor de eficiencia que pueda ser aplicado directamente a nuestras estimaciones (como es el caso de procesos de autotransporte de mercancías o pasajeros), este factor se tomara en cuenta para guardar precisión en los resultados y ser consistentes con la teoría termodinámica del proceso en cuestión y a este factor se le llamará “factor de disipación”.

1.5 Transferencia de calor

Existen 3 tipos de transferencia de calor:

Conducción Molecular

Consiste en la transferencia de calor entre dos puntos de un cuerpo que se encuentran a diferente temperatura sin que se produzca transferencia de materia entre ellos. El calor viaja de la zona más caliente a la más fría.

Ejemplo: Si se considera una barra metálica con un extremo a 80°C y el otro a temperatura ambiente. Si el extremo caliente se mantiene a 80°C (por el efecto de una fuente térmica a esa temperatura) habrá una transferencia de calor por conducción desde el extremo caliente hacia el frío incrementando así el extremo frío su temperatura hasta cierto valor de temperatura según el valor de la conductividad térmica del material que se esté utilizando.

Radiación

Se denomina “radiación térmica” o “radiación calorífica”, a la emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo la intensidad dependiente de su temperatura, esta energía eventualmente llega a otros cuerpos, aumentando el nivel de excitación de las moléculas o los átomos que lo componen y por lo tanto aumentando su temperatura. En este caso no existe contacto directo entre los cuerpos, ni fluidos intermedios que transporten el calor. Simplemente por existir un cuerpo A (sólido o líquido) a una temperatura mayor que un cuerpo B existirá una transferencia de calor por radiación electromagnética del cuerpo A al B hasta llegar a una temperatura de equilibrio. La rapidez de transferencia térmica en este caso depende de la diferencia de temperaturas a la cuarta potencia: $\Delta(T^4)$. Más específicamente, la derivada temporal de la radiación que va del cuerpo A

hacia el B, es proporcional a la constante de Stefan-Boltzmann por la diferencia de las respectivas temperaturas a la cuarta potencia. Según la siguiente ecuación [83]:

$$\dot{Q}_{Rad} = eA\sigma_{SB}[(T_A)^4 - (T_B)^4]$$

Donde \dot{Q}_{Rad} es también llamada la potencia radiada neta, A es el área radiante, σ_{SB} es la constante de Stefan-Boltzmann y T_A y T_B son las temperaturas de los cuerpos A y B mencionados anteriormente. La constante e representa la emisividad del objeto radiante, y es un parámetro importante que da información sobre “cuanta radiación es emitida por un objeto”, en comparación con la de un cuerpo negro perfecto de la misma temperatura [82].

Ejemplo: Un ejemplo sencillo de este fenómeno es considerar la relación que existe entre el Sol y la Tierra. El sol, debido a su alta temperatura en la corona (5,800 Kelvin), emite radiación electromagnética calentando la Tierra que es un cuerpo mucho más frío. Debido a la gran distancia que existe entre estos dos cuerpos (150 millones de kilómetros) la Tierra es calentada hasta llegar a una temperatura de equilibrio que en este caso es de -18°C (255 Kelvin). Esta temperatura de equilibrio se entiende más apropiadamente como temperatura efectiva de emisión, es decir, aquella que mediría un observador lejos de la Tierra a partir de la potencia total de la radiación infrarroja emitida al espacio por la atmósfera de nuestro planeta. Habitualmente, se entiende la temperatura de equilibrio como la que tendría la superficie terrestre sin la existencia del efecto invernadero [75].

Convección

La convección ocurre en un fluido (gas, líquido o sólido como el magma terrestre) y consiste en un movimiento ordenado de masa que transporta la energía térmica entre dos zonas: una caliente y otra un poco más fría. Este tipo de transferencia se produce por medio de un patrón disipativo auto-organizado espacio-temporalmente conocido como celdas de Bernard [84]. Este tipo de transferencia de calor se produce de forma turbulenta. La transmisión de calor por convección puede ser:

Libre o Natural: ocurre cuando el propio fluido absorbe calor de una zona caliente y disminuye su densidad haciendo que se desplace hacia arriba (zona más fría) donde cede calor.

Forzada: a través de un ventilador de aire o bomba de agua, se mueve el fluido desde una zona caliente (que se pretende enfriar) y éste transporta el calor hacia una zona más fría.

Es fácil ver que la convección es fundamentalmente una transferencia de calor por conducción molecular aplicada a los átomos y moléculas de los fluidos e incluye un movimiento masivo y coordinado de átomos o moléculas que transfieren calor de las regiones más calientes de un sistema a las más frías. Se le pone este nombre para enfatizar que el cuerpo que está recibiendo y cediendo calor, tiene una trayectoria cíclica por consecuencia del empuje hidrostático ejercido por el medio en el que se encuentra.

2. Gases de efecto invernadero (GEI)

Los GEI (Gases de Efecto Invernadero) producen un aumento de la temperatura terrestre al impedir la transmisión de ciertas frecuencias de energías radiativas a través de la capa atmosférica hacia el espacio exterior. Esto ocurre pues de la energía solar que llega a la Tierra en forma de radiación de onda corta (espectro visible, UV y ulteriores), parte es absorbida por los elementos terrestres y parte se reemite de

nuevo al espacio. De igual forma, parte de la radiación absorbida por la superficie terrestre también se reemite en forma de radiación de onda larga (espectro infrarrojo) de vuelta a la atmósfera. De esta forma, los GEI que se encuentran en las capas bajas de la atmósfera, absorben nuevamente parte de esta radiación de onda larga y la reemiten de vuelta a la superficie terrestre. Este fenómeno conocido como *efecto invernadero* se produce de forma natural y aumenta la temperatura de la Tierra, lo que permite la habitabilidad de nuestro planeta. La temperatura media en la superficie terrestre es de unos 15°C. Sin la presencia de los GEI la temperatura media sería de unos -18°C, por lo que no sería posible la existencia de vida.

No obstante, la concentración de los GEI está aumentando desde la época preindustrial debido a la acción del hombre, lo que está provocando un aumento de la temperatura global del planeta. Según datos publicados por el IPCC, la temperatura media de la Tierra ha aumentado entre 0.56 y 0.92 °C desde el año 1906, alcanzando las temperaturas más elevadas de los últimos 1,300 años [1]. Además, el nivel del mar ha aumentado anualmente 3.2 mm desde el año 1993 y la superficie de suelo congelado de manera estacional y permanente, se ha reducido desde el año 1990 un 7% en el Hemisferio Norte, con disminuciones de hasta un 15% durante la primavera. Entre los GEI que se encuentran en la atmósfera, los más importantes y sobre los que se desarrollan políticas de protección ambiental son los siguientes:

- ✓ Dióxido de carbono (CO₂)
- ✓ Metano (CH₄)
- ✓ Óxido nitroso (N₂O)
- ✓ Hidrofluorocarbonos (HFC)
- ✓ Perfluorocarbonos (PFC)
- ✓ Hexafluoruro de azufre (SF₆)
- ✓ Ozono (O₃)
- ✓ Vapor de agua (H₂O)

De todos los GEI mencionados anteriormente, el vapor de agua es el principal por su gran presencia en la atmósfera y su gran poder de efecto invernadero. Sin embargo, el forzamiento energético atribuido a la presencia de este gas no se toma en cuenta para los efectos de este trabajo, debido a que el mismo no es antropógeno. Es decir, casi en su totalidad, el vapor de agua es llevado a la atmósfera bajo procesos naturales, principalmente la evaporación, condensación y precipitación del agua del mar, llamado comúnmente “ciclo hídrico”. Es importante decir, que el forzamiento de origen antropogénico afecta considerablemente la concentración del vapor de agua en la atmósfera, ya que el océano absorbe cerca del 90% del calor cedido al ambiente por el efecto invernadero [76]. Esto produce naturalmente un nuevo forzamiento antropogénico de “segundo orden” sin embargo, muy difícil de estimar por lo que para los fines de este trabajo no será tomado en cuenta.

Por otro lado, los hidrofluorocarburos (HFC) son los compuestos organofluorados más comunes. Compuestos principalmente por átomos de hidrógeno y flúor, fueron utilizados para sustituir a otros GEI, como los clorofluorocarbonos (CFC), que destruyen a la capa de ozono. Sin embargo, al igual que los otros gases usados como sustitutos, p. ej., los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆), son los que tienen más potencial de calentamiento global.

Los tres primeros de los compuestos enlistados anteriormente son los más importantes, siendo la contribución relativa de los mismos al proceso global del cambio climático (forzamiento radiativo) en torno a un 60% para el CO₂, sobre el 20% para el CH₄ y alrededor del 6% para el N₂O, tal y como se puede observar en la Figura 2.

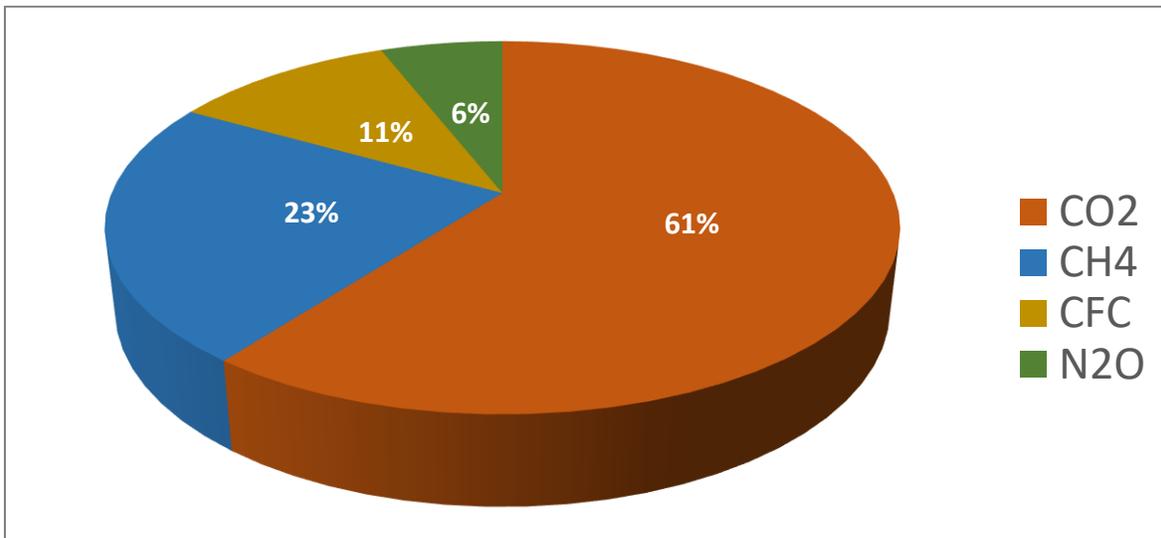


Figura 2. Contribución térmica (FR) de los diferentes GEI IPCC, 2007 [1]

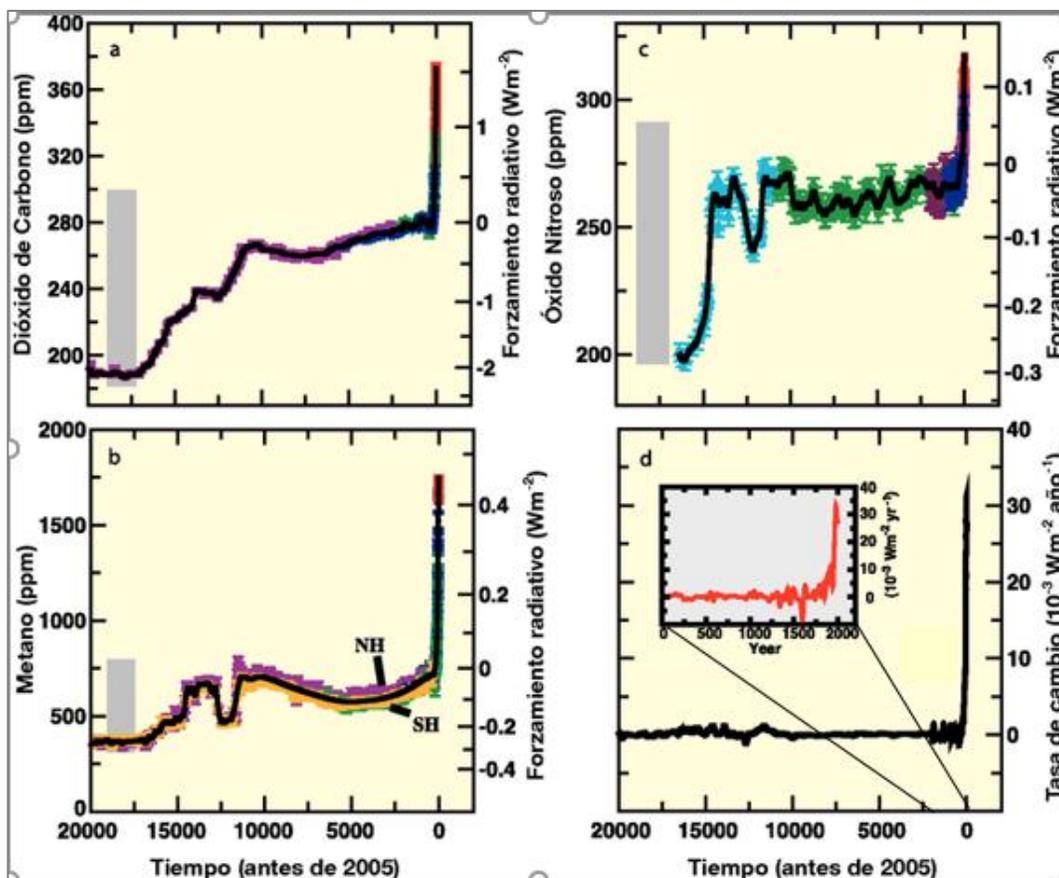


Figura 3. Concentración y Forzamiento Radiativo de los principales GEI IPCC, 2007 [1]

La figura anterior muestra las concentraciones y el correspondiente forzamiento radiativo del CO₂, CH₄ y N₂O (paneles a,b,c) y la tasa de cambio de su forzamiento radiativo combinado (panel d) durante los últimos 20,000 años reconstruidas a partir del hielo antártico, de Groenlandia, datos de nieve granular y mediciones atmosféricas directas (paneles a,b,c, líneas rojas). Las barras grises muestran los niveles de variabilidad natural reconstruidos durante los últimos 650,000 años. La tasa de cambio del forzamiento radiativo se calculó mediante una curva en los datos de concentración. La edad se calculó con datos que varían desde aproximadamente veinte años para sitios con poca acumulación de nieve como Law Dome, Antártida, hasta aproximadamente 200 años para lugares con más acumulación como Dome C, Antártida.

La notación “ppm” (partes por millón) denota una medida de la proporción relativa de una sustancia respecto a otras. En el caso de gases se utiliza el ppmv y significa la proporción relativa de una sustancia respecto a otras dentro de un volumen determinado. Muchas veces se acostumbra a no diferenciar entre ppm y ppmv. En el caso de los GEI y en todos los casos dentro de este trabajo se utiliza la nomenclatura “ppm” aunque en realidad son “ppmv” es decir, partes por millón en volumen. Por otro lado, la abreviatura “ppb” significa partes por billón (EE.UU.) es decir, una parte de mil millones en un determinado volumen. Esta abreviatura se ve generalmente para datos de la concentración del metano atmosférico.

2.1 Dióxido de carbono (CO₂)

El CO₂, también conocido como anhídrido carbónico, es un gas cuya molécula está compuesta por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Es soluble en agua cuando la presión se mantiene constante y a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente (25°C) donde tiene una solubilidad de 1.45 g/l. Dicha solubilidad varía desde los 3.3 g/l hasta los 0.5 g/l a medida que se varía la temperatura del agua desde los 0.1°C hasta los 60°C [77]. Normalmente esta molécula se encuentra en la naturaleza en forma gaseosa, pero a bajas temperaturas y altas presiones el gas se licúa y tiene una densidad similar a la del agua. Por encima de 31 °C no se puede licuar a ninguna presión (temperatura crítica), ya que el CO₂ líquido sólo puede existir entre la temperatura crítica (31 °C) y la del punto triple (-56.6 °C), correspondiéndole las presiones de 74.5 bar y 4.2 bar respectivamente. Cuando se le somete a una temperatura considerablemente baja (-78.5 °C) llega a ser sólido formando lo que se denomina hielo seco o nieve carbónica. [78]

Este gas es el principal GEI emitido por la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

Para entender por qué las emisiones de CO₂ afectan el cambio climático, se debe revisar cómo se ha alterado el ciclo del carbono en estas últimas décadas. La concentración atmosférica de CO₂ ha tenido un aumento considerable en el siglo XX, especialmente en sus últimas décadas. Antes del comienzo de la revolución industrial (hacia 1750, cuando se perfeccionaron las máquinas de vapor) la concentración de CO₂ en la atmósfera era de unas 280 ppm (0.028%) y a principios del siglo XXI alcanza los 370 ppm (0.037%) como se muestra en la siguiente figura. [71]

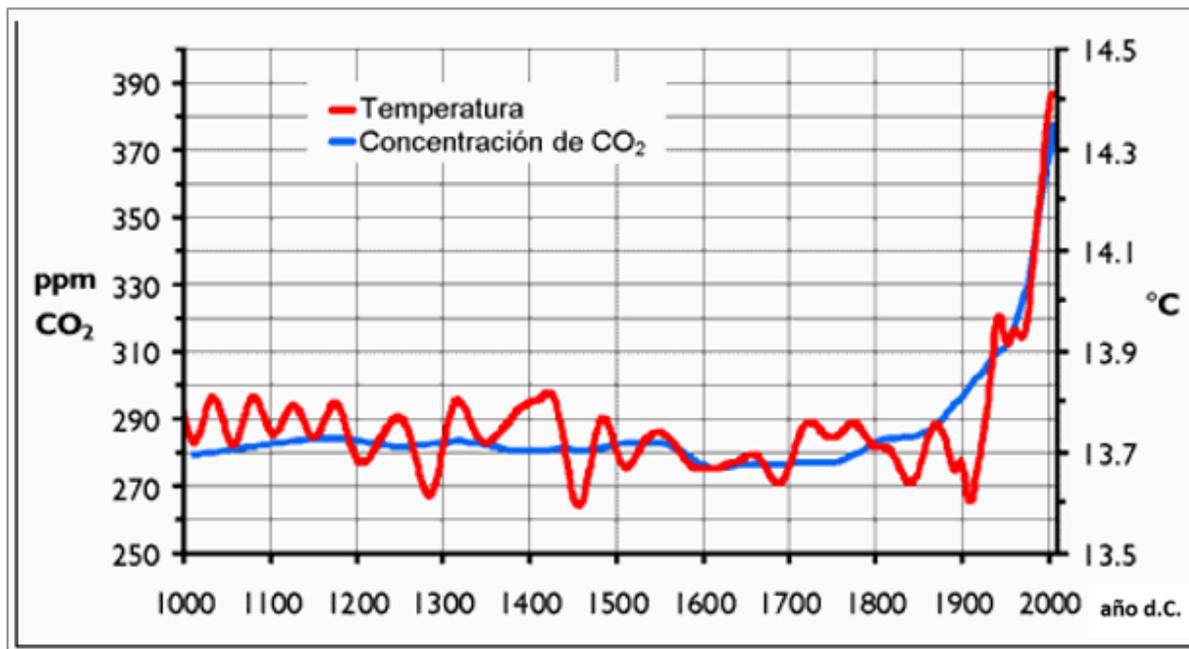


Figura 4. Concentración de CO₂ y Temperatura [71]

Esta gráfica muestra la relación entre la concentración atmosférica de CO₂ (azul) y la temperatura típica (promedio global anual) (rojo) durante los últimos mil años. Es evidente la relación que hay entre ambos y se puede observar que no existen niveles tan altos de CO₂ en los últimos mil años como los presentes en la actualidad.

2.2 Metano (CH₄)

Entre los gases a incorporar en el Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera que tienen relevancia en la agricultura se encuentra el CH₄ (metano) atmosférico, que tiene un poder de efecto invernadero, o Potencial de Calentamiento Global (PCG) unas 23 veces superior al del CO₂ por masa y cerca de 8 veces mayor por molécula. Los datos mundiales muestran que el sector agropecuario es el principal contribuyente a las emisiones de CH₄. Considerando únicamente las emisiones antropógenas del sector agropecuario, la fermentación entérica de los rumiantes ocupa el primer lugar en la emisión de este gas, seguido del cultivo del arroz, que es la segunda fuente más importante según la siguiente lista:

- ✓ 53% Fermentación entérica
- ✓ 18% Cultivo del arroz
- ✓ 18% Otras actividades agrícolas
- ✓ 11% Gestión de estiércoles

La producción de metano por fermentación entérica se deriva de manera natural del proceso digestivo principalmente del ganado bovino y otros rumiantes. Por esta razón han aumentado las investigaciones a fin de reducir la metanogénesis ruminal. Esta última está influenciada por varios factores, entre los que destacan: consumo de alimento, composición y digestibilidad de la dieta y procesamiento previo del

alimento [18]. En la Figura 5 se puede observar claramente la relación que guarda la presencia de metano en la atmósfera con la temperatura terrestre.

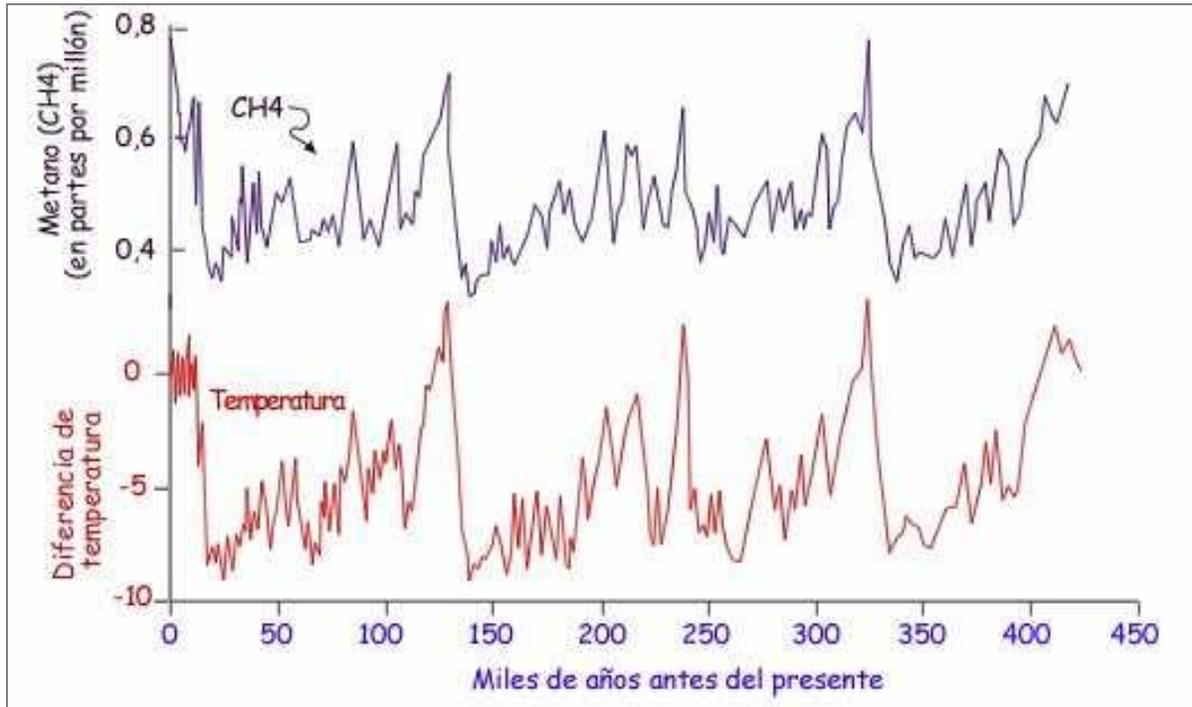


Figura 5. Concentración de CH₄ Vs. T
[72]

En la gráfica anterior se puede ver fácilmente la sincronización de las curvas isotópica de temperatura (en rojo) y del metano atmosférico (en azul), obtenidas en el sondeo del hielo antártico de Vostok, informando la variación térmica global durante las últimas cuatro glaciaciones. Se le llama curva isotópica al cálculo de la variación térmica debido a la presencia del isótopo del Oxígeno δO^{18} en el hielo antártico [72].

2.3 CO₂ equivalente (CO₂e)

Los gases de efecto invernadero distintos del CO₂ son convertidos a su valor equivalente en CO₂, multiplicando la masa total del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global, según la siguiente ecuación:

$$CO_2e = M_g * PCG \quad (1)$$

Donde CO₂e, es la masa de dióxido de carbono equivalente, M_g es la masa total del gas en cuestión y PCG es el potencial de calentamiento global propio de ese gas. Las emisiones de metano, por ejemplo, tienen un potencial de calentamiento global (por masa) igual a 23. Esto significa que en una media de tiempo de 100 años cada kg de CH₄ calienta el planeta Tierra 23 veces más que la misma masa de CO₂.

Se elige el CO₂ como el equivalente al total de los gases de efecto invernadero porque, a pesar de tener un potencial de calentamiento mucho menor que el de otros gases, es el que mayor contribución térmica

genera al forzamiento climático energético (IPCC, 2007). Dicha medida de CO₂ equivalente es usada para calcular la “Huella de Carbono” de un individuo, producto, actividad o servicio. De esta manera se puede cuantificar un impacto ambiental atendiendo a la categoría de calentamiento global provocado por la emisión de gases de efecto invernadero.

2.4 Huella de carbono

La “huella de carbono” o “huella de CO₂ equivalente” (CO₂e) es una de las formas más simples que existen de medir el impacto o la marca que deja una persona, una organización, un producto que resulta de un proceso industrial o agrícola, su comercialización y su consumo, un evento, etc. sobre el planeta en cuanto a sus respectivas emisiones de GEI. Es decir que la huella de carbono, es un recuento de las emisiones de GEI que son liberados a la atmósfera debido a un determinado fenómeno o actividad. Por lo tanto, la huella de carbono de alguna actividad es simplemente la suma de las emisiones de GEI provocadas por dicha actividad, medida en unidades de kgCO₂e a través del PCG específico de cada gas como se explicó en la sección anterior.

Por ejemplo, para calcular la huella de carbono atribuida a la producción, comercialización y los procesos de consumo de un producto, por ejemplo un litro de leche, sería necesario incluir los siguientes aspectos:

1. Producción de la materia prima en el sistema ganadero (pastoreo, manejo de nutrientes y estiércol, fermentación entérica, etc.)
2. Transporte de la leche a la planta procesadora
3. Procesamiento de la leche en la planta (pasteurización, deslactación, etc.)
4. Empacado de la leche

5. Transporte para su distribución a los centros de venta
6. Procesos de consumo
7. Disposición final del envase

Cuando se habla de la huella de carbono atribuida a la producción de ciertos alimentos consumidos en la ZMVM, en las secciones ulteriores de este trabajo, se hace referencia a la huella de carbono del proceso productivo. Es decir, los primeros cuatro puntos de la lista anterior (hasta la línea de separación). Sin embargo, sabiendo que el transporte y distribución es en la mayoría de los casos muy significativo, se calcularon también las emisiones de esta actividad por separado.

Las emisiones atribuidas a los procesos de consumo de estos productos, se considera que se encuentran ya contabilizadas en la sección de electricidad y quema de combustibles fósiles (dentro de la zona) y para las emisiones atribuidas a la disposición final de los envases (basura) no se encontró información suficiente para asociar un valor de emisión de GEI o inversión energética (ver capítulo 9).

2.5 CO₂ y CH₄ en la atmósfera

La primera capa de la atmósfera (troposfera) se compone en un 78% de nitrógeno y en un 20.9% de oxígeno. Existen otros gases presentes como el Argón y otros gases inertes que juntos representan casi el 1% restante, como se puede ver en la Figura 6 el CO₂ representa tan solo el 0.03% de esta composición.

Por otro lado, el Observatorio Mauna Loa de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés), ha medido que en enero de este año (2018) en la atmósfera se tuvo una concentración de CO₂ de 408 ppm y de CH₄ de 1,860 ppb o 1.86 ppm [47]. El

aumento reciente de estas concentraciones y su comportamiento estacional (debido a la actividad metabólica de la vegetación) puede verse en las Figuras 7 y 8 detalladamente.

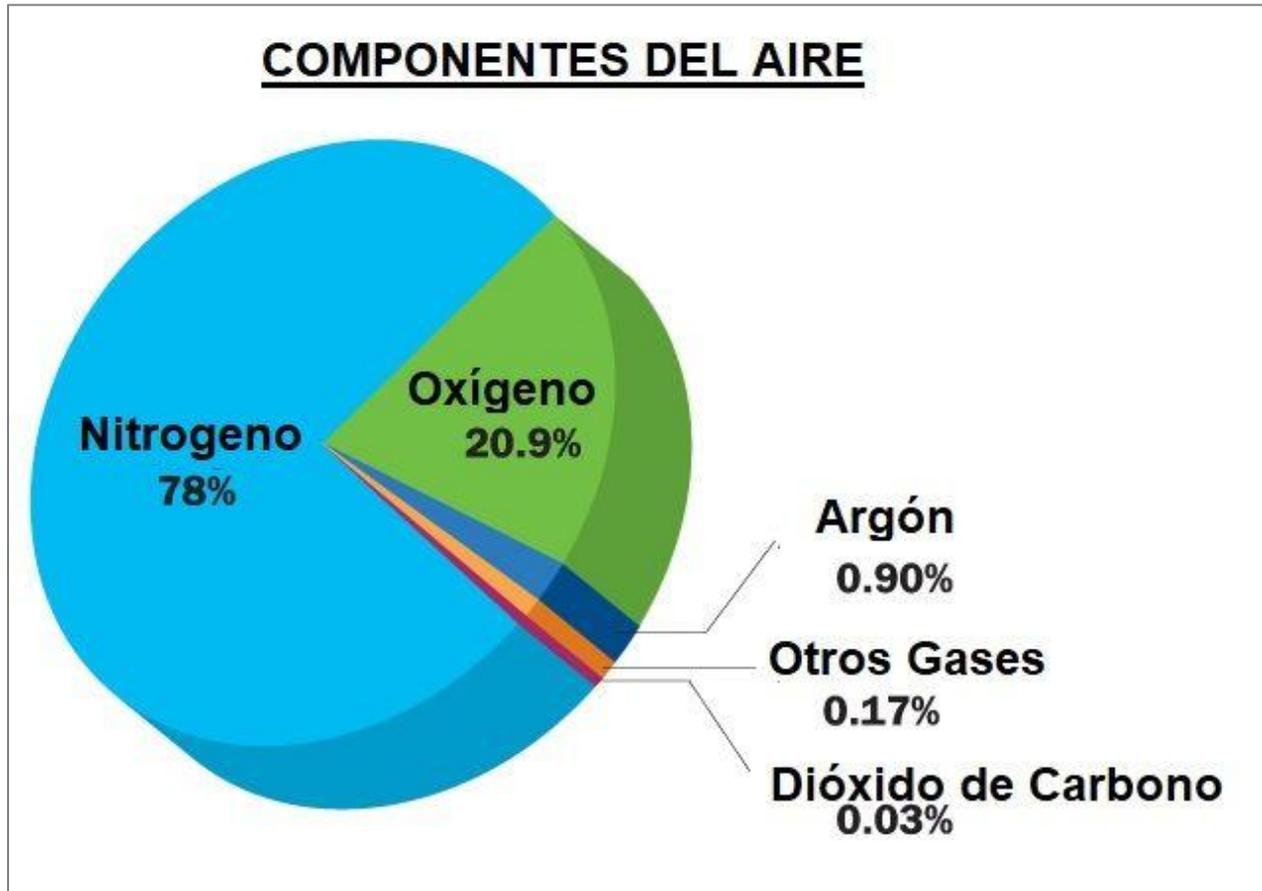


Figura 6. Composición del aire
[73]

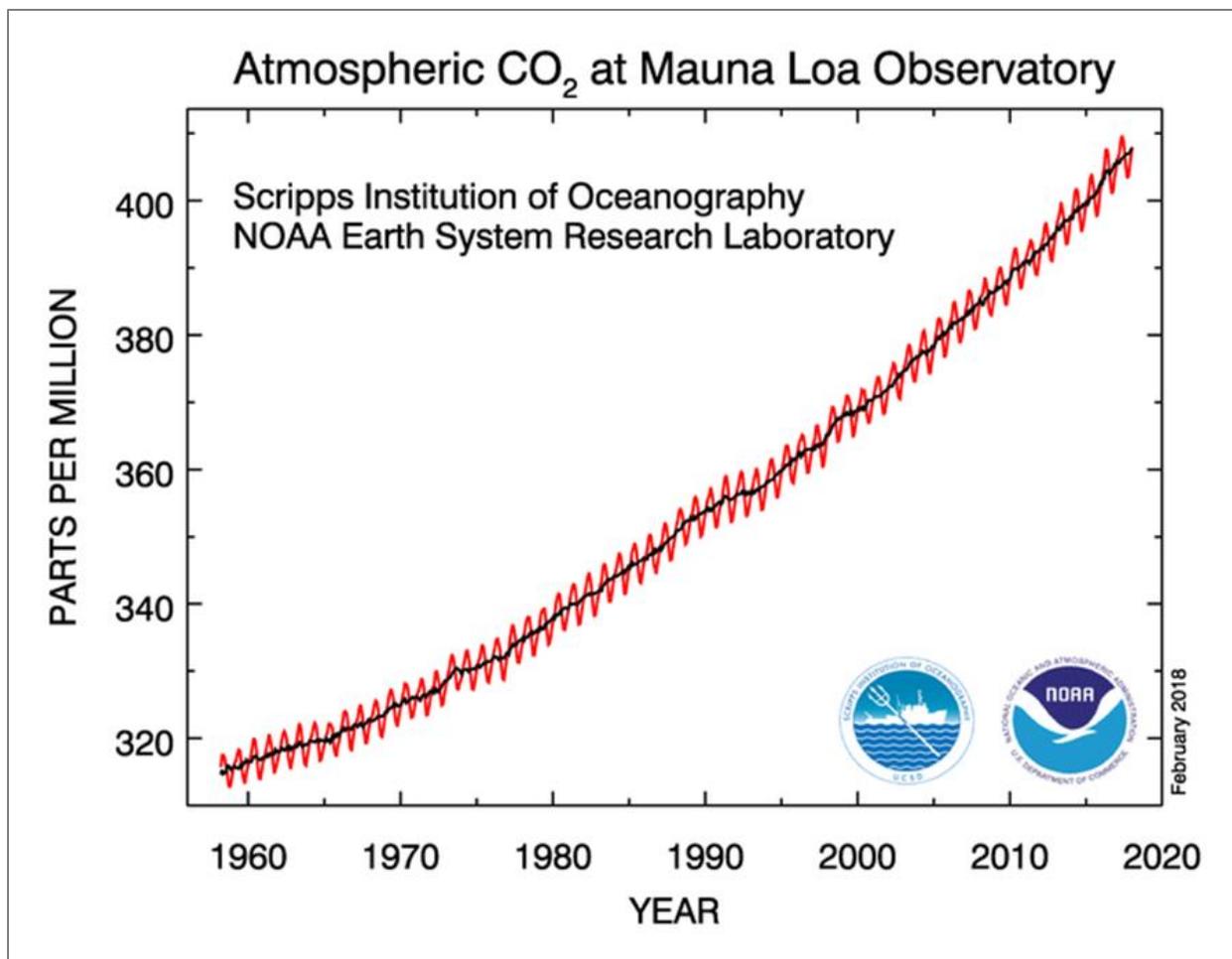


Figura 7. Medición del CO₂ presente en la atmósfera
NOAA, 2018 [47]

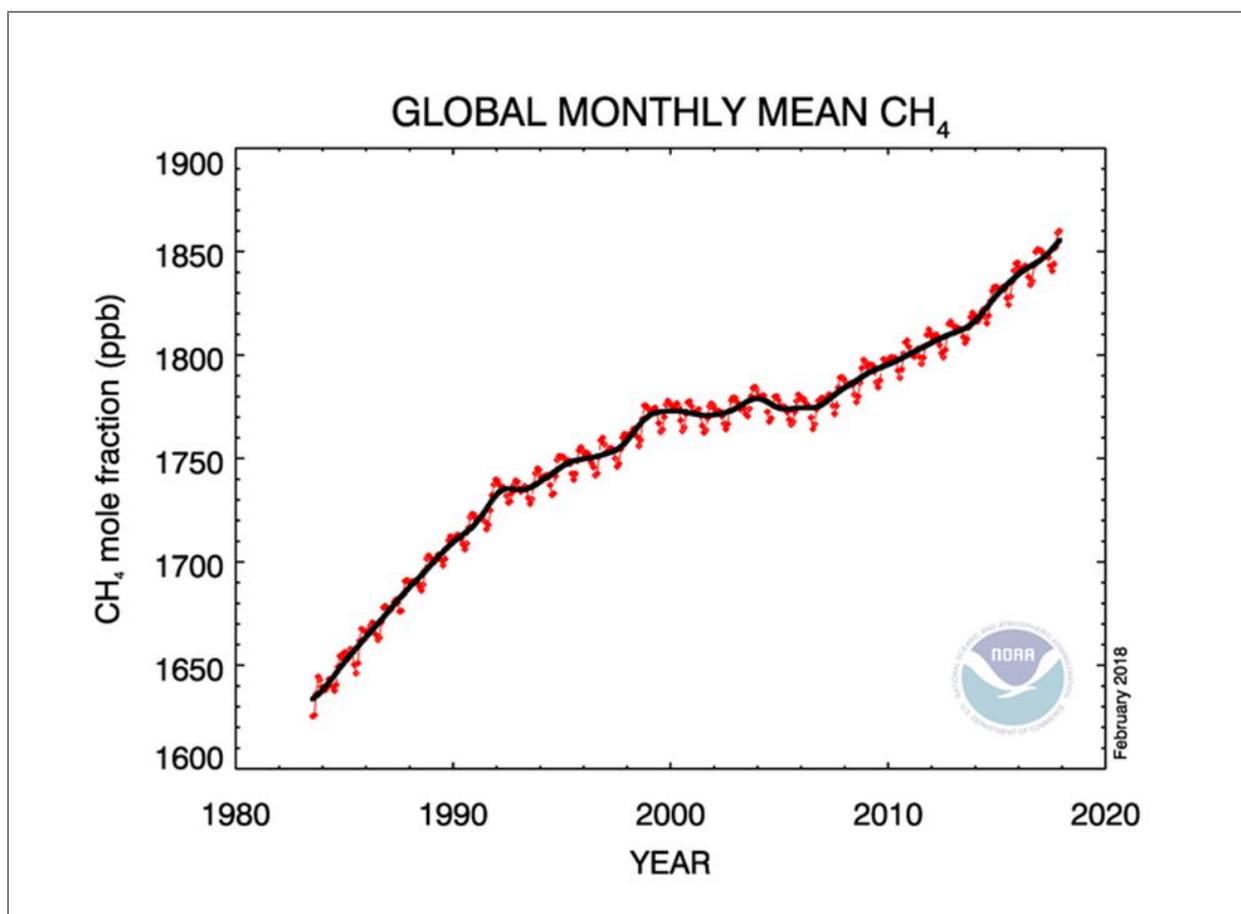


Figura 8. Medición del CH₄ presente en la atmósfera NOAA, 2018 [47]

3. Forzamiento radiativo (FR)

Se denomina “forzamiento radiativo” (FR) al cambio en el flujo neto de energía radiativa (onda corta y larga) hacia la superficie de la Tierra en el tope de la atmósfera, como resultado de cambios internos en la composición de la atmósfera ya sean éstos de naturaleza natural o antropógena [1]. El FR se expresa en unidades de W/m². Un forzamiento radiativo positivo contribuye a calentar la superficie de la Tierra, mientras que uno negativo favorece su enfriamiento.

Para el IPCC, los cambios en el forzamiento radiativo se comparan con el año 1750 ya que esa época se considera preindustrial y no existían emisiones de GEI por esta actividad. Aun así, existían otras formas de emisión de calor y de GEI, por ejemplo, la descomposición de la materia orgánica, la tala de árboles, la quema de materiales orgánicos y otras actividades humanas contaminantes. No obstante, se estima que estas actividades preindustriales siguen presentes en la actualidad en igual medida, es decir que lo que se emitía en aquel entonces por estas actividades es lo mismo que se emite ahora ya que la diferencia en su forzamiento energético tomará un valor cercano al cero.

A menos que se indique lo contrario, el forzamiento radiativo denota un promedio global anual. La Figura 9 muestra algunos de los principales productores de forzamiento radiativo, siendo la presencia de GEI el más significativo con diferencia.

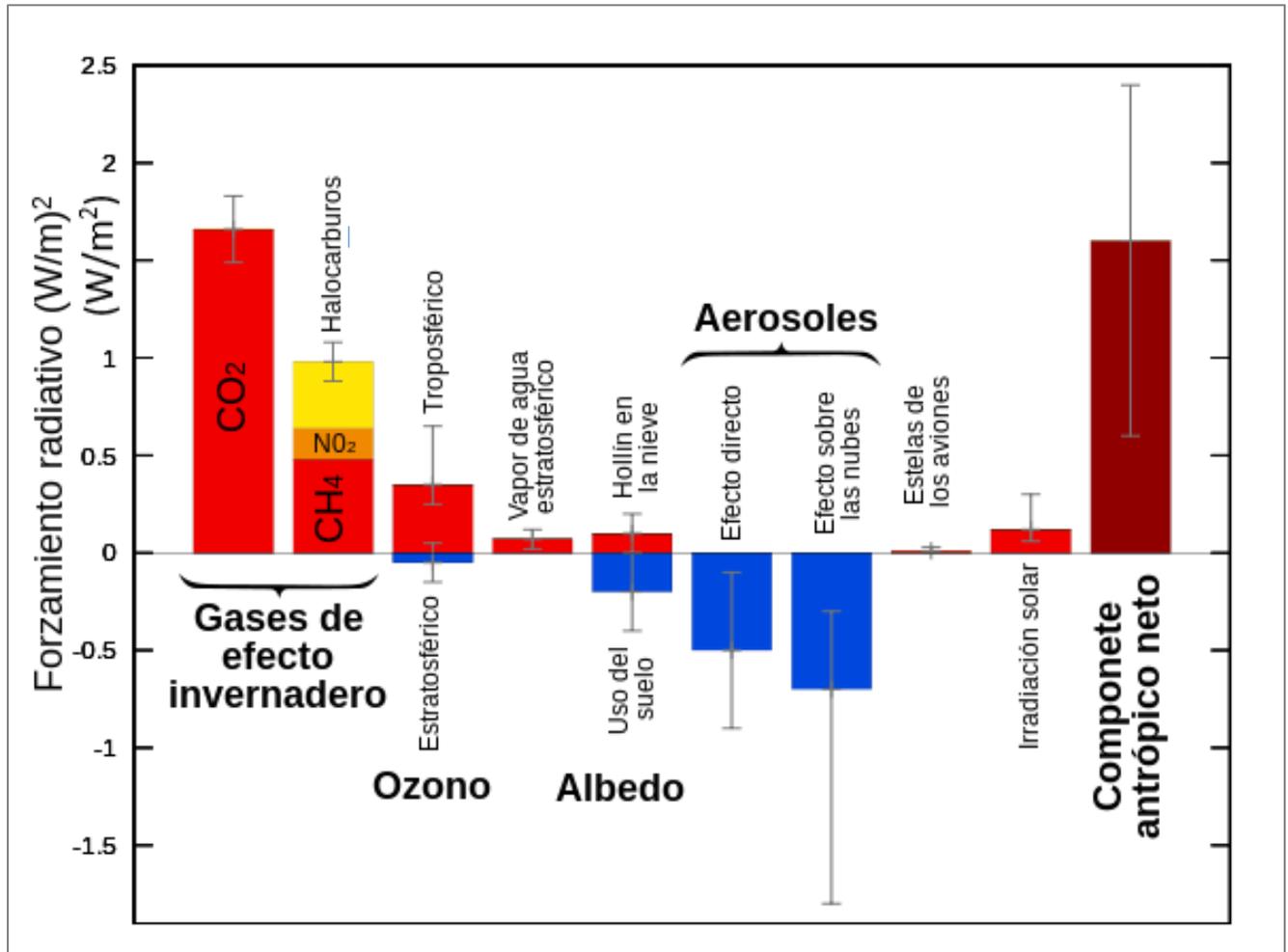


Figura 9. Principales productores de Forzamiento Radiativo IPCC 2007 [68]

4. Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

La Zona Metropolitana del Valle de México es el área metropolitana integrada por las 16 delegaciones de la ciudad de México y 59 municipios del Estado de México. Según los resultados del censo elaborado por el INEGI en el año 2010 esta zona contaba con una población de alrededor de 21 millones de habitantes, esto representa el 17% de la población total mexicana; con una superficie de casi 7,800 km². La Figura 10 muestra las características generales de la ZMVM al año 2014 según el Inventario de Emisiones de la CDMX 2014 [6]. Como se dijo ya anteriormente, en este trabajo y a partir de los capítulos siguientes se estimarán las emisiones de GEI y el calor directo que es cedido al ambiente debido a las actividades cotidianas y a los consumos principales de esta zona del país.

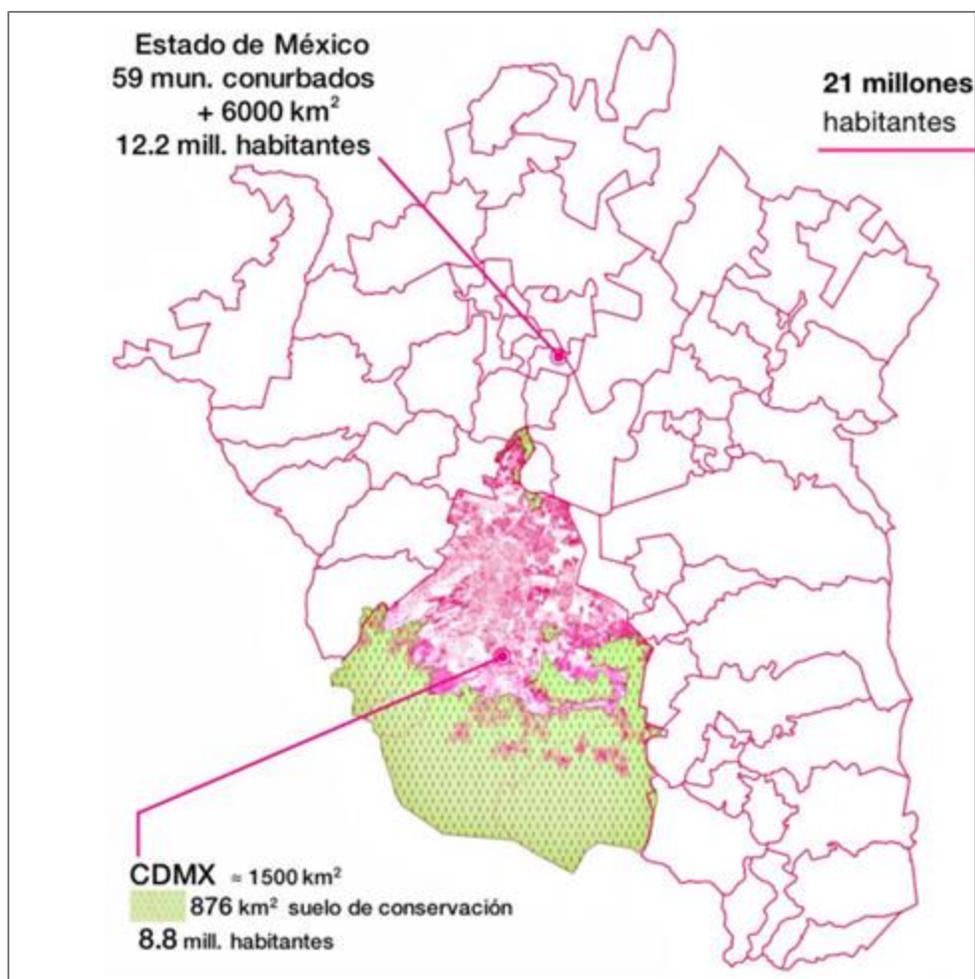


Figura 10. Zona Metropolitana del Valle de México
 Inventario de Emisiones de la CDMX 2014 [6]

*En muchos de los siguientes capítulos, se trabaja con datos que reportan consumos a nivel nacional (combustibles, electricidad, alimentos, etc.). En estos casos, si no se cuenta con un dato para estimar el consumo atribuido a la ZMVM, se multiplicará el dato de consumo nacional por un “factor de población” equivalente a 0.17, ya que como se ha mostrado anteriormente, esta es la fracción de población que se tiene entre los habitantes de la zona contra los habitantes de todo el país.

5. Quema de combustibles fósiles

En la ZMVM se asienta cerca del 17% de la población del país, y se consume un porcentaje similar de petróleo y electricidad. Por la gran demanda de energía que tienen 30 mil instalaciones industriales y comerciales, casi 31 millones de viajes-persona al día, etc. la ZMVM en 2010 consumió 527 petajoules de energía por el uso de combustibles fósiles (14% del consumo nacional) que equivalían a consumir cada día 301 mil barriles de gasolina. Con ello se genera una cantidad de emisiones contaminantes muy elevada y en condiciones geofísicas nada propicias para su dispersión. De acuerdo con el Inventario de Emisiones de la ZMVM de 2010, la atmósfera del Valle de México recibía anualmente 4.4

E9 kgCO₂e/año. El inventario más reciente, publicado en 2014 estima estas emisiones en 4.9 E11 kgCO₂e/año a nivel nacional y **5.6 E10 kgCO₂e/año** en la ZMVM.

5.1 Emisiones de CO₂

5.1.1 Gasolinas

Para este cálculo se utilizará primero el dato de consumo que da PEMEX y después el dato que da el Inventario de Emisiones de la ZMVM. Los motores de gasolina emiten 2.3 kgCO₂ por cada litro de gasolina quemado [20]. Esto implica que, si se considera un consumo de:

i) 812,000 barriles/día a nivel nacional [2], [19] (PEMEX 2016), que equivalen a 129 E6 l/día, multiplicando por 0.17 (factor de población) y por los 365 días que tiene un año, se obtiene una buena aproximación de la emisión anual por el consumo de gasolinas en la ZMVM: (1.29 E8 l/día) (0.17) (365 día/año) (2.3 kgCO₂/l) = **1.9 E10 kgCO₂/año** emitidos por quema de gasolinas en la ZMVM.

ii) 7,550 E6 l/año de consumo de gasolinas en la ZMVM [4](IE), se tiene una emisión de: (7.5 E9 l/año) (2.3 kg/l) = **1.7 E10 kgCO₂/año** emitidos por quema de gasolinas en la ZMVM.

Se puede ver que el resultado para ambos cálculos es muy parecido y por lo tanto es notable la validez del mismo, sin embargo, se conservará el segundo resultado pues se considera que la multiplicación por el factor (0.17) en el primer caso es práctico, pero pierde precisión al ser estimado bajo este factor de población.

5.1.2 Diésel

Los motores diésel emiten 2.6 kgCO₂ por cada litro de gasóleo quemado [7]. Esto implica que, si se considera un consumo de 1,793 E6 l/año [4], entonces se tiene una emisión de: (2.6 kg CO₂/l) (1.8 E9 l/año) = **4.7 E9 kgCO₂/año** emitidos por quema de diésel en la ZMVM.

5.1.3 Gas Natural

Si se considera un consumo de 3.4 E12 l/año [4] = 3.4 E9 m³/año. Tomando en cuenta el factor de emisión del gas natural (2.15 kgCO₂/m³) [7], se tiene una emisión de: (3.4 E9 m³/año) (2.15 kg CO₂/m³) = **7.3 E9 kgCO₂/año** emitidos por quema de Gas Natural en la ZMVM.

5.1.4 Gas LP

Densidad del líquido a 15.5 °C = 0.540 kg/l [30]

Si se considera un consumo de 3,725 E6 l/año [4] = (3.7 E9 l/año) (0.54kg/l) = 2.0 E9 kg/año. Y considerando el factor de emisión del GLP (2.96 kgCO₂/kg) [7]. Se tiene una emisión para este gas de: (2.0 E9 kg/año) (2.96 kgCO₂/kg) = **5.9 E9 kg CO₂/año** emitidos por quema de Gas LP en la ZMVM.

5.2 Calor cedido al ambiente

5.2.1 Gasolinas

Si se considera un consumo de 7.55 E9 l/año [4] = (7.55 E9 l/año) (0.73 kg/l) = 5.5 E9 kg/año, y el poder calorífico de la gasolina es Pc= 12 kWh/kg [7]. Entonces el calor cedido al ambiente tomando en cuenta el

factor de disipación (0.7) es: $(5.5 \text{ E9 kg/año}) (12 \text{ kWh/kg}) (0.7) = \underline{4.6 \text{ E10 kWh/año cedidos por quema de gasolinas en la ZMVM.}}$

5.2.2 Diésel

Si se considera un consumo de $1,793 \text{ E6 l/año [4]} = (1.79 \text{ E9 l/año}) (.85 \text{ kg/l}) = 1.52 \text{ E9 kg/año}$, y el poder calorífico del diésel es $P_c = 12 \text{ kWh/kg [7]}$, el calor cedido al ambiente tomando en cuenta el factor de disipación (0.7) es: $(1.52 \text{ E9 kg/año}) (12 \text{ kWh/kg}) (0.7) = \underline{1.3 \text{ E10 kWh/año cedidos por quema de diésel en la ZMVM.}}$

5.2.3 Gas Natural

Si se considera un consumo de $3.4 \text{ E12 l/año [4]} = (3.4 \text{ E9 m}^3\text{/año}) (777 \text{ g/m}^3) = (2.6 \text{ E9 kg/año})$ y el poder calorífico del Gas Natural es $P_c = 13 \text{ kWh/kg [7]}$, el calor cedido al ambiente es: $(2.6 \text{ E9 kg/año}) (13 \text{ kWh/kg}) = \underline{3.3 \text{ E10 kWh/año cedidos por quema de gas natural en la ZMVM.}}$

5.2.4 Gas LP

Si se considera un consumo de $3,725 \text{ E6 l/año [4]} = (3.7 \text{ E9 l/año}) (0.540 \text{ kg/l}) = 2.0 \text{ E9 kg/año}$. Y el poder calorífico superior del Gas LP es $P_c = 13 \text{ kWh/kg [7]}$, el calor cedido al ambiente es: $(2.0 \text{ kg/año}) (13 \text{ kWh/kg}) = \underline{2.6 \text{ E10 kWh/año cedidos por quema de gas LP en la ZMVM.}}$

6. Electricidad

6.1 Calor cedido al ambiente por el consumo de energía carbo y termoeléctrica

Según la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) [29], México tiene un consumo eléctrico de alrededor de 180 TWh/año . Por otro lado, el informe anual de la CFE 2016 [5], muestra que la generación de energía en 2016 total fue de 254 TWh/año , tomando en cuenta que las energías en cuestión representan un 73.5% de la total generada, se multiplica esta cifra por un factor de 0.735 dando como resultado una generación de 186 TWh semejante a la cifra entregada en el portal de la CCA.

Por lo tanto, la energía anual generada y consumida en México de naturaleza termo y carbo-eléctrica tiene un valor de: **1.8 E11 kWh/año**

Multiplicando por el factor de población de la ZMVM (0.17) se tiene un consumo de la zona de: **3.0 E10 kWh/año** de inyección de calor a la atmósfera por el consumo de energía eléctrica producida por plantas carbo y termoeléctricas. Este dato no se incluye en la tabla final de resultados (cap. 15) pues se considera que es un subconjunto del calor cedido al ambiente estimado en la sección 6.3. Sin embargo, el dato es útil y será utilizado más adelante (sección 6.4) para estimar el calor cedido al ambiente por el consumo de energía hidroeléctrica.

6.2 Emisiones de CO_{2e} por la producción de energía carbo y termoeléctrica

i) Tomando el total de emisiones nacionales de CO₂ dados en el portal de la CCA [29], 120 E9 kgCO_{2e} , y multiplicando por el factor de población de 0.17 para la ZMVM, se tiene que la emisión por esta

producción de electricidad para la zona sería: $(1.2 \text{ E11 kg CO}_2\text{e/año}) (0.17) = \mathbf{2.0 \text{ E10 kgCO}_2\text{e/año}}$ emitidos por generación de energía carbo y termoeléctrica demandada por la ZMVM

ii) Por otro lado, si se calcula usando la tasa de emisión promedio en México que es de $T_e=654 \text{ kgCO}_2\text{e/MWh}$ [80] se tendrá: $(3.0 \text{ E10 kWh/año}) (0.654 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh}) = \mathbf{1.96 \text{ E10 kgCO}_2\text{e/año}}$ emitidos por generación de energía carbo y termoeléctrica demandada por la ZMVM.

Se puede ver que ambas cifras son prácticamente idénticas por lo que se pueden validar. Se puede concluir que estas emisiones ascienden a $\mathbf{2.0 \text{ E10 kgCO}_2\text{/año}}$ emitidos por generación de energía carbo y termoeléctrica que demanda la ZMVM

6.3 Calor cedido al ambiente por la producción de energía carbo y termoeléctrica

Tomando en cuenta los factores de emisión [$\text{kgCO}_2\text{/kg}$] de los distintos hidrocarburos más usados en estas centrales [7],[79]:

Tipo de combustible	Factor de emisión [$\text{kgCO}_2\text{/kg}$]
Gas natural	2.7
Gas butano	2.9
Gas propano	2.9
GLP genérico	2.9
Gasóleo (Diésel)	2.6
Carbón nacional	2.5
Carbón de importación	2.5
Coque de petróleo	3.2

Tabla 1. Factor de emisión de los combustibles más usados en centrales termoeléctricas

Se puede ver que todos los valores se encuentran alrededor del $3.00 \text{ kgCO}_2\text{/kg}$ de modo que, independientemente de las proporciones en las que estos se utilicen para generar la energía en las diferentes plantas termoeléctricas o carboeléctricas, se puede escoger este valor general y usarlo para calcular la cantidad de un hidrocarburo promedio que necesitaría ser combustionado para producir la cantidad de CO_2 estimada en la sección anterior.

La emisión de CO_2 por la generación de energías carbo y termoeléctricas fue de $2.5 \text{ E10 kgCO}_2\text{/año}$, por lo tanto, la cantidad de gasóleo quemado en estas plantas al año es:

$$\frac{\text{Emisión}}{\text{Factor de emisión}} = \text{Masa combustionada}$$

Esto es: $(2.7 \text{ E10 kgCO}_2\text{/año}) / (3\text{kgCO}_2\text{/kg}) = \mathbf{9 \text{ E9 kg/año}}$

Ahora, se puede utilizar este dato para encontrar la inyección de calor al ambiente por la quema de esta cantidad de hidrocarburos. Se tiene que utilizar también un poder calorífico promedio el cual se encuentra alrededor de los 11 kWh/kg para la mayoría de los hidrocarburos empleados en estas plantas, especialmente el gas natural, el gasóleo (gasóleo) y el y el gas LP genérico que son los compuestos más utilizados en este tipo de centrales. [7],[81].

Tipo de combustible	Poder Calorífico [kWh/kg]
Gas natural	10.6
Gas butano	12.4
Gas propano	12.8
GLP genérico	12.6
Gasóleo (Diésel)	11.7
Carbón nacional	5.7
Carbón de importación	7.0
Coque de petróleo	9.0

Tabla 2. Poder calorífico de los combustibles más usados en centrales termoeléctricas

Usando la siguiente ecuación:

$$\text{Masa combustionada} * \text{Poder calorífico} = \text{Calor emitido}$$

Esto es: (9 E9 kg/año) (11kWh/kg) = 1.0 E11 kWh/año de calor directo cedido al ambiente por la producción de energía carbo y termoeléctrica que demanda la ZMVM

6.4 Calor cedido al ambiente por el consumo de energía hidroeléctrica

En cuanto al calor emitido por el consumo eléctrico de naturaleza hidroeléctrica se sabe que ésta representa un 21.8% respecto a un 72.5% del consumo eléctrico de naturaleza termo y carboeléctrica [5] (CFE, 2016). Esto quiere decir que la electricidad producida en plantas hidroeléctricas representa un 0.3 de la electricidad producida en plantas termoeléctricas. Suponiendo que este tipo de electricidad no produce más calor que el propio disipado por el consumo de la misma (y en la disipación durante su transporte), se puede calcular que la inyección de calor por el consumo de esta electricidad es igual al consumo eléctrico calculado en la sección 6.1 por el factor previamente mencionado. Esto es: (3.0 E10 kWh/año) (0.30) = 9.0 E9 kWh/año de calor cedido al ambiente por el consumo de energía hidroeléctrica en la ZMVM

6.5 Emisiones de CO₂e por la producción de energía hidroeléctrica

En México hay 64 Centrales Hidroeléctricas, de las cuales 20 son de gran importancia y 44 son centrales pequeñas. Actualmente 57 están produciendo energía eléctrica y 7 están fuera de servicio [56]. Por otra parte, se tiene una aproximación que establece que una presa hidroeléctrica puede liberar hasta 40 kilogramos de CH₄ por kilómetro cuadrado al día [31]. Observando las dimensiones de algunas de estas presas, se considera que estas tienen una extensión promedio de 200 km², entonces cada una de estas presas emitiría aproximadamente: (40 kgCH₄/(km²*día*presa)) (200 km²) (365 día/año) = **2.92 E6 kgCH₄/(año*presa)**

Nombre	Ubicación	Dimensiones [km ²]	Emisiones [kgCO ₂ e/año]	Potencia instalada [MW]	Factor de emisión [kgCO ₂ e/MWh]
La Angostura	Rio Grijalva, Chiapas	300	1 E8	900	12
Malpaso	Rio Grijalva, Chiapas	480	1.6 E8	1,080	16
Peñitas	Rio Grijalva, Chiapas	40	1.3 E7	420	3.4
Chicoasén	Rio Grijalva, Chiapas	14	4.7 E6	2,400	0.22
Miguel Alemán	Rio Tonto, Oaxaca	490	1.7 E8	354	55
El Caracol	Rio balsas, Guerrero	84	2.8 E7	600	5.2
Infiernillo	Rio Balsas, Michoacán	375	1.2 E8	1,120	11
La Boquilla	Rio Cocnhos Chihuahua	150	5.0 E7	25	228
La Villita	Rio Balsas, Guerrero	80	2.7 E7	300	10
Promedio	-	223	7.4 E7	800	38

Tabla 3. Características de algunas centrales hidroeléctricas mexicanas representativas en funcionamiento

Como se explicó en la sección 2.3, usando el potencial de calentamiento global del metano, se convierte este dato a unidades de CO₂e: (2.92 E6 kgCH₄/año*presa) (23) = **6.72 E7 kgCO₂e/(año*presa)**

Multiplicando esta cifra por las 57 centrales hidroeléctricas activas en México se obtiene un total de: (6.72 E7 kgCO₂e/año*presa) (57 presa) = **3.8 E9 kgCO₂e/año** emitidos por generación de energía hidroeléctrica a nivel nacional.

Lo anterior, multiplicado por el factor de población de la zona da como resultado: 3.8 E9 kgCO₂e/año (0.17) = **6.4 E8 kgCO₂e/año** emitidos por generación de energía hidroeléctrica que demanda la ZMVM.

Para estimar el calor cedido y las emisiones de CO₂e atribuidas al consumo eléctrico de la zona, basta con lo anterior (plantas termoeléctricas, carboeléctricas e hidroeléctricas), ya que según el reporte anual de la CFE 2016 [5] éstas representan el 94.3% de la energía eléctrica total producida en México, dejando de lado las energías: nucleoelectrica, geotermoeléctrica, eoloeléctrica y fotovoltaica que representan solamente el 5.7% y por lo tanto su contribución puede considerarse no significativa o despreciable.

7. Agua entubada

Actualmente se suministra a la ZMVM para uso urbano un caudal medio de 62 m³/s de las siguientes fuentes [25]:

- ✓ Acuífero en ZMCM (1,581 pozos del SACM) 41 m³/s (66%)

- ✓ Sistema Cutzamala 14 m³/s (24%)
- ✓ Sistema Lerma 5.0 m³/s (8%)
- ✓ Madín y manantiales (PAI) 1.0 m³/s (2%)

7.1 Sistema Cutzamala

El sistema Cutzamala es un sistema hídrico de almacenamiento, conducción, potabilización y distribución de agua dulce para la población e industria del Distrito Federal y la zona conurbada del Estado de México. Desde el portal del gobierno mexicano [27] se recogen las siguientes características del sistema:

- ✓ 7 presas principales. Extrae aguas del Río Balsas
- ✓ 6 plantas de bombeo que en conjunto emplean 2.28 E9 kWh/año
- ✓ 322 km de canalizaciones primarias para el agua, distribuidas en 218 km de acueductos por tubería metálica y de concreto, 43.9 km de túneles y 72.5 km de canales abiertos.
- ✓ 1 planta potabilizadora con capacidad de 20 m³/s.

Por otro lado, un informe de la Universidad de Puebla (UPAEP) [26] reporta lo siguiente:

- ✓ El sistema se integra por un acueducto de 140 kilómetros de longitud, que incluye 19 kilómetros de túneles y 7.5 kilómetros de canal
- ✓ 1 planta potabilizadora con capacidad de 24,000 litros por segundo
- ✓ 6 plantas de bombeo que, en conjunto, vencen un desnivel de 1.36km.
- ✓ Para poder funcionar las 24 horas de los 365 días del año, utiliza 1.65 E9 kWh/año.
- ✓ Cutzamala no extrae agua de ningún acuífero. El líquido que pasa por sus ductos y plantas de potabilización y de bombeo proviene de siete presas que acumulan agua de ríos de Michoacán y el Estado de México

Se reporta la energía eléctrica requerida para el suministro de agua de esta fuente como el promedio de los dos datos disponibles, mencionados anteriormente: $((2.28+1.65) / 2) \text{ E9 kWh/año} = \mathbf{2.0 \text{ E9 kWh/año}}$ por suministro de agua del sistema Cutzamala a la ZMVM.

Según este dato y los datos mostrados en la siguiente sección, se puede inferir que el gasto eléctrico del sistema Lerma es de **0.7 E9 kWh/año**. Es importante señalar que el dato mostrado en la tabla de resultados (cap. 15) para el gasto eléctrico total por suministro de agua potable a la ZMVM se basa enteramente en la siguiente sección.

7.2 Gasto energético de bombeo

Un análisis realizado por el Centro Mario Molina en 2011 [8] mostró que el ICE (Índice de consumo energético) del ciclo integral del agua en la ZMVM equivale a 1.32 kWh por cada metro cúbico de agua. Este índice contempla el gasto energético que requiere el transporte del agua potable al consumidor final, más el gasto energético requerido para drenar, tratar y expulsarla de la cuenca.

Al analizar el consumo energético de las distintas fuentes de agua potable de la Ciudad de México, se encontró que el ICE de cada sistema equivale a:

Sistema	Caudal medio	ICE	Consumo energético
Pozos del SACM	(42 m ³ /s)	(0.535 kWh/m ³)	7.2 E8 kWh/año
Lerma-Cutzamala	(19 m ³ /s)	(4.541 kWh/m ³)	2.7 E9 kWh/año
PAI	(1 m ³ /s)	(0.253 kWh/m ³)	8.6 E6 kWh/año
Total	(62 m³/s)	-	3.4 E9 kWh/año

Tabla 4. Gasto energético según el ICE de cada sistema de suministro de agua.

Por lo tanto, el gasto energético total por el suministro de agua potable a la ZMVM es de: **3.4 E9 kWh/año**

7.3 Emisiones de CO₂e y calor cedido al ambiente por la producción de la energía empleada en el suministro de agua entubada

Para un cálculo rápido se puede suponer que la energía eléctrica utilizada en estos sistemas, fue producida en plantas carboeléctricas y termoeléctricas, de modo que su emisión de CO₂e y su consecuente inyección de calor a la atmósfera por su producción, serán directamente proporcionales a las calculadas por la producción de la energía eléctrica consumida por la zona. Así pues, usando una sencilla regla de tres se pueden aproximar los siguientes resultados:

Emisión CO₂e: (3.4 E9) (2.3 E10) / (3.0 E10) = **2.6 E9 kgCO₂/año** emitidos por la producción de la energía eléctrica empleada en el suministro de agua a la ZMVM

Calor cedido: (3.4 E9) (1.1 E11) / (3.0 E10) = **1.2 E10 kWh/año** por la producción y consumo de la energía eléctrica empleada en el suministro de agua a la ZMVM.

8. Organismos vivos

8.1 Calor cedido al ambiente por presencia humana

¿Cuánto calor emitimos en conjunto los habitantes de la ZMVM? Para responder a esta pregunta y calcular esta emisión se utilizarán dos métodos: el primero de ellos, denominado “Salida”, será usando la tasa de actividad metabólica (met), la cual define 1 met como 58W/m² (superficie de la persona). La superficie media de una persona se puede considerar 1.8m². De la norma UNE-EN ISO 7730 [21], se pueden obtener las siguientes tasas metabólicas (energía emitida en forma de calor) de una persona promedio realizando diversas actividades:

Clasificación	Ejemplo	Factor [met]	Tasa de actividad metabólica [W/m ²]	Calor cedido [W]
Reposo	Viendo TV	1	58	104
Actividad sedentaria	Oficinista	1.2	70	126
Actividad ligera	Vendedor	1.6	93	167
Actividad media	Obrero	2	116	209
Actividad alta	Deportista	2.5 – 4	(140 – 222)	(252- 400)

Tabla 5. Calor cedido al ambiente según el nivel de actividad del ciudadano promedio.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede inferir que un mexicano promedio emite aproximadamente 170W durante el día (actividad ligera). Por otra parte, se puede inferir también que durante la noche el mexicano promedio emitirá 80W aproximadamente, esto da un promedio día/noche de 125W de emisión que multiplicados por los 22 millones de habitantes de la zona serían: $(125\text{W}/\text{persona}) (22 \text{ E6 persona}) = 2.7 \text{ E9 W}$.

Multiplicando por un factor de 8.76 (8,760 horas que tiene un año sobre mil, por el prefijo de “kilo”) se pasa a unidades de kWh/año: $(2.7 \text{ E9 W}) (8.7 \text{ k}^*\text{h}/\text{año}) = \underline{2.3 \text{ E10 kWh/año cedidos al ambiente por la presencia de seres humanos en la ZMVM}}$

Por otro lado, se puede calcular lo mismo analizando el consumo calórico individual, método que se denominará “Entrada”. Según la siguiente información [22]:

- ✓ Mujeres que no realizan actividad física: 1,400 kcal/día
- ✓ Mujeres que realizan actividad física moderada: 1,750 kcal/día
- ✓ Mujeres que realizan demasiada actividad física: 2,200 kcal/día
- ✓ Hombres que no realizan actividad física: 2,200 kcal/día
- ✓ Hombres que realizan actividad física moderada: 2,400 kcal/día
- ✓ Hombres que realizan demasiada actividad física: 2,800 kcal/día

De estos datos se puede tomar un valor medio de: 2,200 kcal/día per cápita. De este modo, el consumo calórico total anual sería: $(2.2 \text{ E3 kcal/persona}^*\text{día}) (2.2 \text{ E7 persona}) = (4.8 \text{ E10 kcal/día}) = (4.8 \text{ E10 kcal/día}) (365 \text{ día/año}) = (1.7 \text{ E13 kcal/año}) = (1.9 \text{ E13 Wh/año}) = \underline{1.9 \text{ E10 kWh/año cedidos al ambiente por la presencia de seres humanos en la ZMVM}}$

Se puede ver que las dos cantidades estimadas anteriormente son muy cercanas entre sí y del mismo orden, lo que permite validarlas, la cifra que se tomará en cuenta será la del método “salida” ya que se considera que el método “entrada” es menos preciso y parte de la energía consumida en la alimentación es en muchos casos almacenada en forma de grasa o transformada por medio del trabajo humano a energía potencial que no se libera en forma de calor.

8.2 Calor cedido al ambiente por presencia de vida animal doméstica

Según cifras oficiales actualmente existen aproximadamente 7 millones de perros, 2 millones de gatos y 2 millones de aves y peces en la ZMVM [23] (INEGI 2016)

Para estimar el calor emitido por la presencia de estos animales, se procede de manera similar a lo hecho en la sección anterior con el método “Salida”. Tomando primero la cantidad de perros, gatos y aves y peces domésticos y multiplicando por sus correspondientes tasas metabólicas (según el área superficial de cada animal).

Tipo de mascota	MET [W]	Cantidad (ZMVM)	Calor total cedido [kWh/año]
Perros	50	7,000,000	3.1 E9
Gatos	40	2,000,000	7.0 E8
Aves y peces	5	2,000,000	0.8 E8
Total	-	11,000,000	3.9 E9

Tabla 6. Calor cedido al ambiente según el tipo de mascota de los habitantes de la ZMVM

Esto da un total de: **4.0 E9 kWh/año cedidos al ambiente por la presencia de mascotas en la ZMVM**

Por otro lado, se procederá a obtener el calor cedido según las kilocalorías necesarias para cada tipo de animal con el método "Entrada". (1 W = 0.86 kcal/h)

Para perros, se encontró en un portal veterinario que el consumo calórico diario se puede obtener con la siguiente fórmula: kcal/día = Peso del perro [kg] * 30 + 70 [24]

De este modo se tiene que para un perro promedio (10kg) el cálculo del calor que cede al ambiente será:
 $10 * 30 + 70 = 370$ kcal/día Dividiendo entre 24 (h/día) se tiene: 15.5 kcal/h = **18 W/perro**

Así, multiplicando por la cantidad de perros domésticos en la zona (7 E6) se tiene una emisión total de:

(18 W/perro) (7 E6) = 1.3 E8 W = **11.0 E8 kWh/año**

Haciendo el mismo desarrollo para los gatos (peso=3kg), se tiene: $3 * 30 + 70 = 370$ kcal/día.

Dividiendo entre 24 (h/día): (370 kcal/día) / (24 h/día) 15.5 kcal/h = **6 W/gato**

Multiplicando ahora por la cantidad de gatos se tiene: (6 W/gato) (2 E6 gato) = 0.12 E8 W = **1.0 E8 kWh/año**

Sumando lo anterior se obtiene un resultado de ((11.0 + 1.0) E8 kWh/año) = **1.2 E9 kWh/año cedidos al ambiente por la presencia de mascotas en la ZMVM**

8.3 Emisiones de CO₂e por la degradación de la materia orgánica humana y animal

Es importante señalar, que la descomposición de la materia orgánica también genera emisiones de GEI, principalmente CH₄. De modo que la emisión de los desechos orgánicos de un ser humano carnívoro promedio será mucho más alta que la emisión de los de los desechos orgánicos de una persona vegana, o relativamente vegetariana. Esto se debe principalmente a que, las frutas y los vegetales, están compuestos por agua en un 80%, vitaminas y azúcares en un 15%, y proteínas, grasas y otros minerales en un 5% [46].

Incluso los granos y las legumbres, están compuestos por estructuras orgánicas más "amigables" para ser digeridas y sus restos pueden reintegrarse con mayor facilidad a la tierra. Al contrario de lo que pasa con los desechos de los carnívoros, ya que la carne está compuesta por agua en un 70%, proteínas en un 20%, grasas en un 6%, sustancias inorgánicas no proteínicas en un 1.5%, hidratos de carbono y sustancias no nitrogenadas en un 1.5% y sales inorgánicas en un 1% [45]. Todos estos elementos químicos de la carne (con excepción del agua), son considerablemente más pesados y menos biodegradables a comparación con los presentes en los vegetales y otros productos de alimentación de origen vegetal.

No obstante, las emisiones del gas que se produce tras los procesos de digestión de la materia orgánica (llamado comúnmente "biogás") se debe únicamente a la acción de bacterias anaeróbicas en un proceso llamado biodigestión. El biogás está compuesto de aproximadamente 60% CH₄ y 40% CO₂ sin embargo la producción de este gas en los sistemas digestivos animales (no rumiantes) y humanos es muy pequeño como para ser tomado en cuenta, es decir, es "no significativo" (NS). Por otro lado, como se mencionó en el capítulo 3, se considera que la descomposición de la materia orgánica en la ZMVM en la actualidad es similar a la que existía en la época preindustrial. Por este motivo, no se incluyen estimaciones cuantitativas

de las emisiones de esta naturaleza ya que se considera que la diferencia de su forzamiento climático energético actual respecto al de aquella época será muy cercana al cero.

9 Basura inorgánica

En México se recolectan diariamente 86 mil 343 toneladas de basura [28]. Por otro lado, en la Figura 11 se muestran los porcentajes de participación de cada estado sobre el total de los desperdicios inorgánicos nacionales. Con estos datos se puede estimar la generación de basura en la zona según el siguiente cálculo:

$(86,500 \text{ E3 kg/día}) (0.3) = 2.6 \text{ E7 kg/día} = \underline{9.5 \text{ E9 kg/año de basura inorgánica producida en la ZMVM}}$

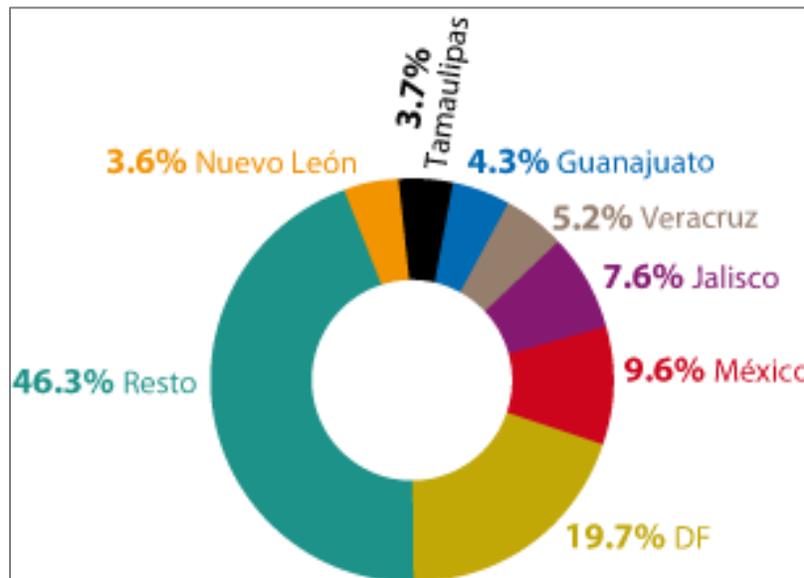


Figura 11. Basura a nivel nacional
INEGI, 2018 [28]

Calcular la energía térmica liberada por la descomposición, y el reciclaje de la basura generada en la Zona, resultó extremadamente complicado y no se encontraron datos confiables que ayudaran a determinar alguna cifra. Tampoco se encontró forma de asociar a estos desperdicios una emisión de GEI, ya que debido a la gran variedad de compuestos inorgánicos que componen a la basura y a sus diferentes tiempos de degradación, se necesitaba encontrar información relacionada con la cantidad de cada material que se desperdicia diariamente en la zona, así como la energía necesaria para el reciclaje de cada material. Esta información no se encontró, de modo que no se pueden atribuir números a esta etapa del ciclo de vida de un producto.

Sin embargo, basta con señalar que recientemente se ha formado el llamado “continente de plástico” que es una zona cubierta de desechos inorgánicos en el centro del océano Pacífico Norte, para dejar en evidencia el impacto ambiental que generan estos desechos inorgánicos. Esta isla de basura está localizada entre las coordenadas 135° a 155°W y 35° a 42°N y tiene una extensión de 1.6 millones de km² y se estima que contiene cerca de 80,000 toneladas de plástico como se muestra en la siguiente figura [57].

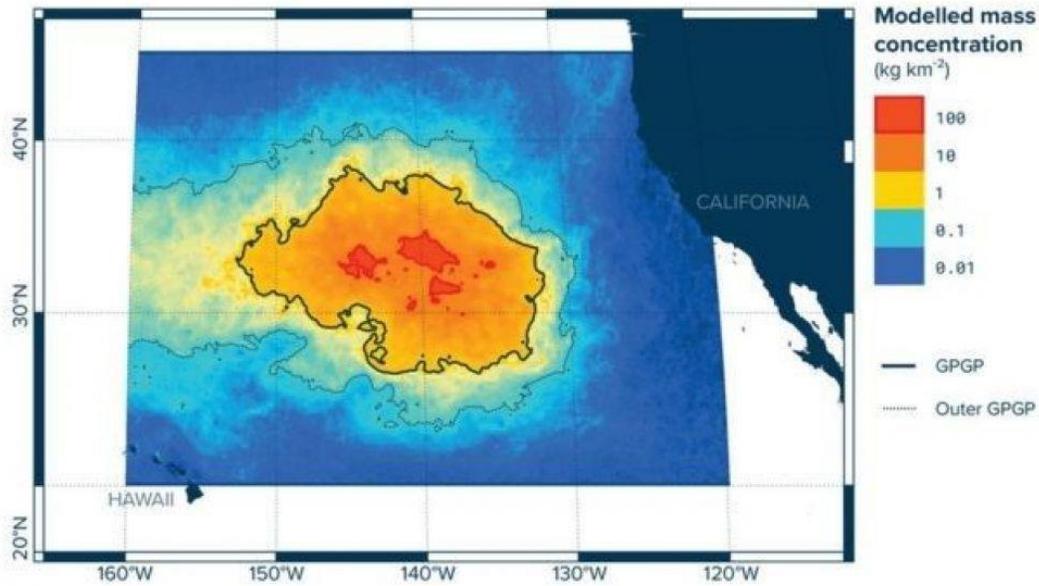


Figura 12. Isla de Basura en el océano Pacífico Norte
Ocean Cleanup Foundation, 2018 [57]

10 Alimentos de origen animal

10.1 Emisiones de CO₂e por el consumo

10.1.1 Huella de Carbono

De la Guía para el Consumidor de Carne [9], se tienen las siguientes huellas de carbono [kgCO₂e/kg] asociadas a los distintos tipos de alimentos de origen animal:

Alimento	Huella de Carbono [kgCO ₂ e/kg]
Res	15.2
Borrego	20.4
Puerco	4.62
Pollo	2.33
Procesados	15.2
Salmón	4.14
Huevo	2.12
Leche	1.06
Queso	9.82

Tabla 7. Huella de carbono de algunos alimentos de origen animal

10.1.2 Consumo de carne de res, puerco y pollo

Según el Atlas de la Carne 2016 [10] y el SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) [33], se sabe que estos alimentos (en canal) se producen, se importan, y se consumen anualmente en México en las siguientes cantidades:

Cárnico	Producción nacional [kg/año]	Importación [kg/año]	Consumo aparente [kg/año]	Consumo per-cápita [kg/año]
Pollo	3.1 E9	7.8 E8	3.7 E9	30.8
Puerco	1.3 E9	7.2 E8	2.1 E9	17.6
Res	1.9 E9	1.2 E8	1.8 E9	15.3
Procesados	1.0 E9	9.1 E7	1.0 E9	8.6
Total	7.3 E9	17.1 E8	8.6 E9	71.3

Tabla 8. Producción, importación y consumo de cárnicos (en canal) a nivel nacional

**EL 90% de los cárnicos importados viene de los EE.UU.*

**Se le llama "consumo aparente" (CA) pues el dato se estima según la siguiente fórmula: CA = Producción + Importación - Exportación*

Así pues, el cálculo del CO₂e emitido por el consumo de alimentos de origen animal (res, puerco, pollo y procesados) sería:

*Emisión anual = Consumo total anual * huella de carbono:*

Cárnico	Huella de carbono [kgCO ₂ e/kg]	Consumo aparente [kg/año]	Emisión nacional anual [kgCO ₂ e/año]
Res	15.2	1.8 E9	2.7 E10
Puerco	4.62	2.1 E9	9.7 E9
Pollo	2.33	3.7 E9	8.6 E9
Procesados	8.2	1.0 E9	8.2 E9
Total	-	8.6 E9	5.3 E10

Tabla 9. Estimación de las emisiones anuales por el consumo de cárnicos a nivel nacional

Por lo tanto, el total de emisiones por consumo de cárnicos (res, puerco, pollo, procesados) atribuidos a la ZMVM es: **9.0 E9 kgCO₂e/año**

10.1.3 Consumo de borrego, leche, huevo y queso

Borrego

México sólo genera el 70% de la carne ovina que consume por lo que tiene un mercado interno potencial de unas 25,000 toneladas anuales [11]. (SAGARPA 2013)

- ✓ México **produce** 60,000 toneladas anuales (en canal) [12] (SAGARPA), [33] (SIAP)
- ⇒ **6 E7 kg** anuales de producción nacional ovina
- ⇒ México **consume** 9 E7 kg/año de carne de borrego

La emisión atribuida a este consumo será:

- ⇒ ZMVM consume por lo menos el 17% => 1.8 E7 kg anuales de consumo de borrego

⇒ ZMVM emite: consumo * emisión = (1.8 E7 kg/año) (20.4 kgCO₂e/kg) = **3.6 E8 kgCO₂e/año** emitidos por el consumo de ganado ovino en la ZMVM

Atún

Un reporte Universitario de la Universidad La Salle de Filipinas [89], arrojó la siguiente huella de carbono [kgCO₂e/año] para los diferentes procesos en la elaboración del atún comercial.

- ✓ Pesca: 1.15 – 8.86
- ✓ Almacenamiento: 0.0025 – 0.12
- ✓ Cocina y Enlatado: 0.42 – 1.38
- ✓ Transporte: 0.11 – 1.53

Tomando una huella total aproximada como el valor medio de cada uno de estos procesos, se obtiene una huella de: **6.1 kgCO₂e/kg**. Por otro lado, se estima que el consumo per cápita de este producto en México es de 1.3 kg/(persona*año) [90]. Esto implica que la emisión atribuida a este consumo será:

(1.3 kg/(persona*año)) (6.1 kgCO₂e/kg) (2.2 E7 persona) = **1.7 E8 kgCO₂e/año**

Huevo

- ✓ Producción Nacional: 2.7 E9 kg/año [33]
- ✓ Consumo ZMVM: 5.4 E8 kg/año [33]

La emisión atribuida a este consumo será:

⇒ Emisión ZMVM: (5.4 E8 kg/año) (2.12 kgCO₂e/kg) = **1.1 E9 kgCO₂e/año** emitidos por el consumo de huevo en la ZMVM

Leche

- ✓ Producción Nacional: 1.2 E10 l/año [33]
- ✓ Consumo per cápita: 132 l/año [34]
- ⇒ (132 l/año*persona) (2.2 E7 persona) = 2.9 E9 l/año
- ⇒ ZMVM consume **2.9 E9 l/año** de leche

Por lo tanto, la emisión atribuida será: (2.9 E9 l/año) (1.06 kgCO₂e/l) = **3.1 E9 kgCO₂e/año** emitidos por el consumo de leche en la ZMVM

Queso

- ✓ Consumo per cápita: 6 kg/año [35]
- ⇒ Consumo ZMVM: (6 kg/año) (2.2 E7) = **1.3 E8 kg/año**

Las emisiones atribuidas son: (1.3 E8 kg/año) (9.82 kgCO₂e/kg) = **1.3 E9 kgCO₂e/año** emitidos por el consumo de queso en la ZMVM

Por lo tanto, el total de emisiones de CO₂e atribuidas al consumo de borrego, atún, huevo, leche y queso en la ZMVM es: 3.6 E8 + 1.7 E8 + 1.1 E9 + 3.1 E9 + 1.3 E9 = **6.1 E9 kgCO₂e/año**

⇒ El total de emisiones por consumo de alimentos de origen animal en la ZMVM es:
(9.0 + 6.1) E9 kgCO₂e/año = **1.5 E10 kgCO₂e/año**

10.2 Emisiones de CO₂ por el transporte

Es importante por otra parte, contemplar las emisiones generadas a partir del transporte que necesitan estos productos para llegar a la zona. Para calcular este dato, se dividirá en dos partes el problema. Por un lado, se contemplan los alimentos consumidos en la zona que tienen origen nacional, y, por otro lado, aquellos consumidos en la zona que tienen origen en una producción extranjera. Para poder proceder con dicha estimación, se necesitará primero conocer el porcentaje de cárnicos importados y el porcentaje de cárnicos de origen nacional. Para esto se utilizarán los datos mostrados en la Figura 13 y en la Figura 14.

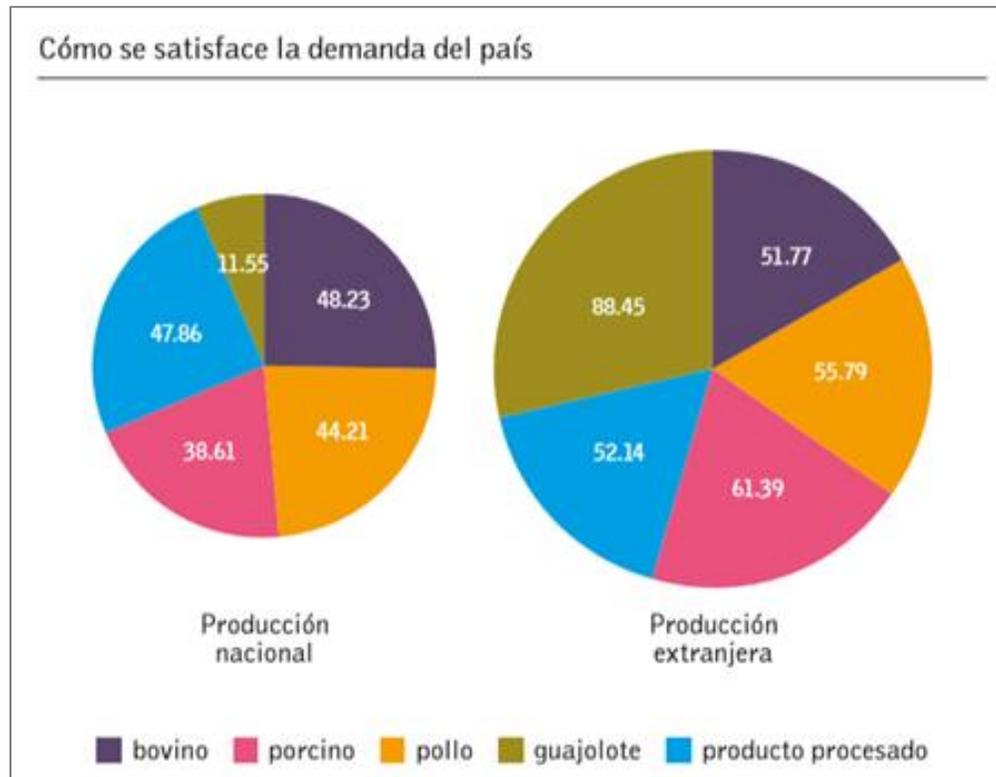


Figura 13. Consumo de cárnicos (en canal) de origen nacional Vs. Importados
Atlas de la Carne - Adendum México 2016 [10]

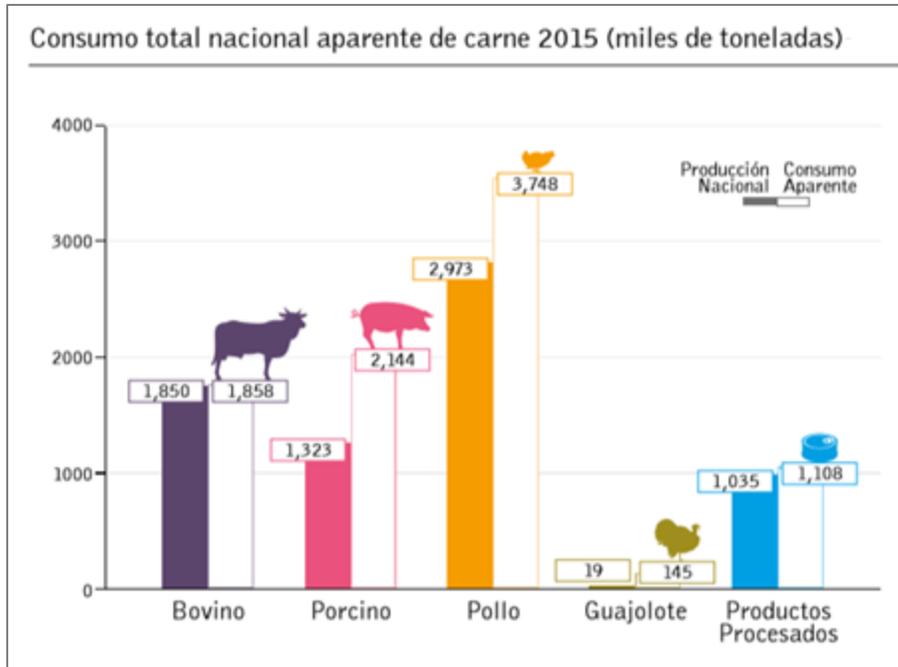


Figura 14. Consumo aparente y producción nacional de cárnicos (en canal)
Atlas de la Carne - Adendum México 2016 [10]

En la Figura 13 se puede ver el porcentaje de importación contra el porcentaje de exportación según cada tipo de carne. Con estos datos, lo que se antoja de primera instancia es promediar el total de porcentajes de “importación” y el total de los porcentajes de “producción nacional” para obtener el dato buscado, sin embargo, proceder de esta manera sería incorrecto, ya que como se puede ver en la Figura 14, el consumo de cada tipo de carne es distinto, lo que hace que algunos tipos de carne cobren más importancia o peso que otros. Sabiendo esto, se procede a calcular un “promedio pesado” en donde los datos a promediar son los porcentajes de la Figura 13, y el peso asociado a cada porcentaje es el correspondiente “consumo aparente” según la Figura 14.

La expresión para la obtención de un promedio pesado es:

$$\frac{\sum_i p_i x_i}{\sum_i p_i}$$

Donde p_i es el factor de peso “*i-ésimo*” asociado al dato “*i-ésimo*” x_i

De este modo, el promedio pesado de consumo aparente con origen nacional es:

$$\frac{(1,858)48.23\% + (3,748)44.21\% + (2,144)38.61\% + (1,108)47.86\% + (145)11.55\%}{9,003} = 43.6\%$$

Restándole al total (100%) esta cifra, se obtiene el promedio pesado del consumo aparente de cárnicos importados: Esto es: 100%-43.62% = **56.4%**

Sabiendo estos porcentajes, ya es posible conocer también el total de cárnicos (por su masa “en canal”) que son importados y la masa en canal que es traída a la ZMVM desde granjas en territorio nacional. Estos

datos se obtienen en las siguientes dos subsecciones y se usan junto con los porcentajes que se acaban de obtener de promedio pesado para calcular las emisiones por este transporte.

10.2.1 Emisiones de CO₂ por el transporte de cárnicos de origen nacional

Para conocer este dato, se necesita saber, primeramente, la distancia promedio que recorren estos productos desde el lugar en el que finalizan su producción (granja), hasta el centro de la zona que es el lugar aproximado en donde son vendidos y consumidos. Idealmente, se necesitaría ubicar en un mapa las principales productoras de carne en México y aproximar así un promedio de la distancia recorrida desde estos puntos hasta el centro de la ciudad de México. Sin embargo, son muchas las productoras de carne que hay alrededor del país y no se cuenta con un dato de cuáles son las que abastecen a la zona. Lo que sí se sabe es que la mayor producción de carne en el país se concentra en 8 entidades: Jalisco, Michoacán, Estado de México, Guanajuato, Coahuila, Veracruz, Chiapas y Chihuahua [53]. Tan sólo estas ocho entidades acaparan el 58.4% del sacrificio de ganado bovino en el país, no se cuenta con el dato, pero se asume que un porcentaje similar se tiene para el ganado ovino y porcino.

Por otro lado, el 8 de marzo de 2014, Oswaldo Cházaro Montalvo, presidente de la Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas, aseguró que “La cantidad de carne que ingresa al Distrito Federal para el consumo humano no puede conocerse con exactitud” Sin embargo, se sabe que el abasto de la Ciudad de México se realiza desde todo el país y el abasto más importante es de la entidad vecina, el Estado de México, donde existen 154 rastros según el INEGI. También, de acuerdo con el Censo Agropecuario del INEGI realizado en 2007 y cuyos resultados fueron publicados en 2009, existían entonces 23.3 millones de cabezas de ganado bovino en el país, repartidos principalmente en Veracruz, Jalisco Chihuahua Chiapas, Sonora, Michoacán y Durango. A esto se le sumaban nueve millones de cabezas de ganado porcino distribuidas en granjas ganaderas de Sonora, Jalisco, Guanajuato y Puebla, principalmente. Y en cuanto las aves, existían 339 millones de cabezas de aves en granjas avícolas de Jalisco, Guanajuato, Veracruz, Puebla, Durango y Querétaro [54].

De lo anterior se puede inferir que aproximadamente la mitad de la carne (en canal) consumida en la zona vendrá de rastros del Estado de México, cuya distancia al centro de la ciudad es de aproximadamente 100 km viales. Sin embargo, este dato no es relevante pues se puede inferir que toda la carne de ganado (en pie) vendrá de granjas ubicadas en otros estados (fuera de la zona) entre las cuales podrían estar las ya mencionadas anteriormente. Con este razonamiento se puede asociar una distancia promedio de 600 km viales que deben recorrer las cabezas de ganado desde las granjas en dichos estados hasta los rastros (principalmente en el Edo. de Mex.) y finalmente hasta los supermercados, tiendas y comercios de la ZMVM para estimar una huella de carbono asociada al transporte de estos alimentos. Haciendo la aproximación mencionada de 600 km se tendría lo siguiente:

- ✓ Consumo de carne anual per cápita: **65.1 kg/(año*persona)**
- ⇒ Consumo anual de carne de la ZMVM: (65.1 kg/año*persona) (2.2 E7 persona) = **1.4 E9 kg/año**
- ⇒ Consumo anual de carne de la ZMVM (producción nacional): (1.4 E9 kg/año) (0.44) = 6.1 E8 kg/año = **6.1 E5 t/año** (se aplicó el factor de promedio pesado)
- ⇒ Consumo anual de carne (en pie) de la ZMVM : 6.1 E5 t/año (1.5) = **9.1 E5 t/año**

Por otro lado, se sabe que el factor de emisión del combustible de tipo diésel por unidad de energía empleada es: **7.33 E4 kgCO₂/TJ** [16]. Usando este factor, solo falta conocer la energía empleada en transportar este producto anualmente para poder conocer la emisión anual atribuida a su transporte.

La Secretaría de Energía (SENER) señala en un informe de eficiencia energética de 2011 que el autotransporte de carga consumió en 2010, 648.5 E15 J de energía. Fue la modalidad más utilizada para el transporte de carga, con 1.2 E12 toneladas*kilómetro contra 6.9 E10 toneladas*kilómetro de transporte ferroviario utilizado en el tráfico de mercancías dentro del territorio nacional. La intensidad energética del autotransporte de carga fue de **0.5 MJ/(tonelada*kilómetro)** mientras que para el transporte ferroviario de carga fue de 0.32 MJ/(tonelada*kilómetro) en 2009 [58].

Es importante señalar que este factor de consumo energético o “intensidad energética” está asociada a todo tipo de mercancías, sin embargo, es evidente que no se tiene la misma eficiencia energética para transportar materiales pesados y materiales livianos. Es evidente que los materiales livianos por tonelada requieren mucho más espacio y por lo tanto más viajes por tonelada de mercancía. Esto implica que se mueve más masa bruta (del camión o tren) y menos producto por lo tanto la eficiencia energética de los productos livianos será menor, dicho de otra forma, la intensidad energética para materiales livianos es mayor que la intensidad energética del transporte de materiales pesados.

No obstante de la consideración anterior, cabe señalar que todos los productos alimenticios a los que se le estimará una huella de carbono por transporte en esta sección y subsecuentes, (carne, vegetales, agua, refrescos y cerveza) tienen una densidad muy parecida cercana a la del agua ($\rho \approx 1 \text{ kg/l}$). Esto nos permite tomar la intensidad energética promedio que da la SENER (**0.5 MJ/(tonelada*kilómetro)**) para el transporte de mercancías por medio del autotransporte de carga para nuestra estimación. La intensidad energética asociada al transporte ferroviario de carga no será tomada en cuenta ya que éste representa menos del 10% (aproximadamente el 6%) del transporte de mercancías comparado con el autotransporte de carga y por lo tanto su contribución puede despreciarse.

Por otro lado, el transporte aéreo de carga también es despreciable pues tiene un factor de tráfico de 1.46 E8 toneladas*kilómetro (lo que representa un 0.01% de lo transportado vía terrestre) y a pesar de tener la intensidad energética más alta (7.6 MJ/(tonelada*kilómetro)) su contribución al cálculo sigue siendo depreciable. Así pues, se procede a calcular la energía empleada en mover este producto una distancia promedio de 600 km viales (vía autotransporte) según la siguiente expresión:

Energía total utilizada en el transporte anual de cárnicos (origen nacional):

$$\text{Intensidad energética} * \text{consumo anual} * \text{distancia recorrida} = \text{Energía empleada}$$

Esto es: (0.5 MJ/(t*km)) (9.1 E5 t/año) (600 km) = 2.7 E8 MJ/año = **2.7 E2 TJ/año**

Por lo tanto, la emisión de CO₂ por el transporte anual de cárnicos (origen nacional), atribuidos al consumo de la zona es: (2.7 E2 TJ/año) (7.3 E4 kgCO₂/TJ) = **1.9 E7 kgCO₂/año**

Nota: Los empaques y/o envases en los que son transportados los productos tienen un peso que no está siendo considerado para la estimación, sin embargo, esto se considera despreciable tanto en esta sección como en el resto relativas al transporte debido a que se considera que el peso por viaje de los empaques y envases es menor al 10% del peso total del producto neto transportado.

10.2.2 Emisiones de CO₂ por el transporte de cárnicos importados

Por otro lado, tomando en cuenta las importaciones de carne hacia la ZMVM, lo primero que se debe tener en cuenta es que el 90% de las importaciones vienen de los Estados Unidos. Sabiendo esto es posible atribuir una distancia promedio de unos 2,000 km aproximados desde el centro de la ciudad de México

hacia un punto al sur de los Estados Unidos de Norte América, que es de donde se supondrá que se importan la mayoría de los cárnicos importados consumidos en la zona. Para ilustrar esto, se dibujó una elipse en la parte sur del cinturón ganadero que es la región del país que más carne produce y el punto en cuestión es el centro de dicha elipse como se muestra en la siguiente figura.



Figura 15. Geolocalización de la industria ganadera de los EE.UU. que abastece a la ZMVM [74]

Con esta aproximación se tiene lo siguiente:

- ✓ Consumo de carne anual per cápita: **65.1 kg/año*persona**
- ⇒ Consumo anual de carne de la ZMVM: (65.1 kg/año*persona) (2.2 E7 persona) = **1.4 E9 kg/año**
- ⇒ Consumo anual de carne de la ZMVM (importación): (1.4 E9 kg/año) (0.56) = 7.8 E8 kg/año = **7.8 E5 t/año** (se aplicó el factor de promedio pesado)
- ⇒ Consumo anual de carne (en pie) de la ZMVM (importación): (7.8 E5 t/año) (1.5) = 1.2 E9 kg/año = **1.2 E6 t/año**

Análogamente al cálculo realizado en la subsección anterior, la energía total utilizada en el transporte anual de estos productos (importación) es:

$$\text{Intensidad energética} * \text{consumo anual} * \text{distancia recorrida} = \text{Energía empleada}$$

$$\text{Esto es: } (0.5 \text{ MJ/(t*km)}) (1.2 \text{ E6 t/año}) (2,000 \text{ km}) = 1.2 \text{ E9 MJ/año} = \mathbf{1.2 \text{ E3 TJ/año}}$$

Por lo tanto, la emisión de CO₂ por el transporte anual de cárnicos importados, atribuidos al consumo de la zona es: (1.2 E3 TJ/año) (7.3 E4 kgCO₂/TJ) = **8.7 E7 kgCO₂/año**

Por lo tanto, el total de emisiones atribuidas al transporte de estos productos será la suma de los dos resultados obtenidos anteriormente (producción nacional + importación). Esto es: (1.9 E7 kgCO₂/año + 8.7 E7 kgCO₂/año) = **1.6 E8 kgCO₂/año** emitidos por transporte de cárnicos hacia la ZMVM.

Finalmente, se multiplica esta cifra por un factor de 1.7, para tratar de incluir a los otros alimentos de origen animal (subsección 10.1.3), cuya emisión total resulto ser aproximadamente dos terceras partes de la emisión de los cárnicos mencionados en la subsección 10.1.2. Así pues, nuestra cifra final será: (1.6 E8 kgCO₂/año) (1.7) = **2.7 E8 kgCO₂/año** emitidos por transporte de alimentos de origen animal a la ZMVM

10.3 Calor cedido al ambiente por el transporte

Para proceder con este cálculo se necesita primero conocer el total de la energía requerida para transportar estos productos, de modo que hay que sumar los resultados obtenidos para la energía empleada en el transporte de las dos subsecciones anteriores y multiplicarlos por el factor de 1.7 para considerar a los otros alimentos de origen animal: E = (1.8 E2 TJ/año + 7.8 E2 TJ/año) (1.7) = **16.3 E2 TJ/año**

Tomando este dato de energía necesaria para el transporte anual de estos productos y tomando en cuenta la disipación de esta energía (70%) según el factor de eficiencia de los motores de combustión interna utilizados en este proceso (30%), entonces el calor cedido al ambiente por esta actividad será esta misma energía, multiplicada por un factor de 0.7 y convertida a unidades de kWh/año. Esto es: (2.77 E-7kWh/J) (16.3 E14 J/año) (0.7) = **3.1 E8 kWh/año** cedidos al ambiente por el transporte de alimentos de origen animal hacia la ZMVM

11 Alimentos de origen vegetal

11.1 Emisiones de CO₂e por el consumo

11.1.1 Arroz

Un artículo de investigación colombiano publicado en 2014 [36], arrojó los siguientes resultados para la huella de carbono que tiene la producción de arroz en distintos países:

- ✓ Colombia - 7.2 kgCO₂e/kg
- ✓ China – 2.5 kgCO₂e/kg
- ✓ Madagascar - 4.8 kgCO₂e/kg
- ✓ Japón - 1.9 kg CO₂e/kg

Se involucran las actividades de maquinaria, transporte, fertilización y aplicaciones, así como la fertilización nitrogenada.

La gaceta del gobierno mexicano, aporta los siguientes datos:

- ✓ México produce 179 mil 775 toneladas de arroz [38] (SAGARPA 2018)
- ✓ En promedio cada habitante mexicano consume alrededor de 6 kg de arroz al año [38]

- ✓ Del millón 100 mil toneladas del arroz que se consume en el país cada año, sólo 20 por ciento se produce en 6 mil hectáreas, el resto se importa de Estados Unidos, Argentina y Uruguay [37], [38]

Tomando la huella de carbono más alta encontrada (**7.2 kg CO₂e/kg**) y suponiendo que esta corresponde aproximadamente a la huella de carbono que tiene la producción del arroz en México y en los países de importación mencionados anteriormente, entonces la emisión nacional sería:

Emisión nacional por consumo de arroz: (7.2 kg CO₂e/kg) (1.1 E9 kg/año) = **8 E9 kgCO₂e/año**

Emisión en la ZMVM por consumo de arroz: (8 E9 kgCO₂e) (0.17) = **1.4 E9kgCO₂e/año**

Por otro lado, usando el dato del consumo per cápita: (6 kg/persona*año) (2.2 E7 personas) = (13.2 E7 kg/año) (7.2 kg CO₂e/kg) = **9.5 E8 kg CO₂e/año**

Tomando el promedio de estas dos cantidades como la mejor aproximación para nuestro resultado, se tiene:

Emisión en la ZMVM por consumo de arroz: **1.2 E9 kgCO₂e/año**

11.1.2 Legumbres

Lentejas, frijoles, garbanzos y otras legumbres contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se estima que unas 190 millones de hectáreas de leguminosas vierten entre cinco y siete millones de toneladas de nitrógeno al suelo. Como son capaces de fijar su propio nitrógeno en el suelo, no necesitan tantos fertilizantes, ya sean orgánicos o sintéticos, y pueden desempeñar un papel importante en la reducción de emisiones contaminantes [39].

Los datos reunidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), también indican que cuando se alimenta al ganado con legumbres, “su alto contenido en proteínas hace que contribuyan a aumentar la tasa de conversión de alimentos, mientras disminuyen las emisiones de metano de los rumiantes, por lo tanto, las emisiones de gases invernadero” [39]

En promedio, los mexicanos consumen 10.8 kilos de frijoles al año, de acuerdo con estimaciones de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) sin embargo, por lo mencionado anteriormente, no se atribuyen emisiones de GEI ni a la producción ni al consumo de estos.

11.1.3 Azúcar

Un reporte universitario ICESI [13] (Ballesteros, Sotelo, 2013) arrojó la siguiente huella de carbono para una hectárea cultivada de caña:

- ✓ 159.4 E3 kg CO₂e /año*ha

Por otro lado, para el ciclo azucarero 2012/13, la productividad en campo fue de 78.7 toneladas de caña por hectárea y **8.9 toneladas de azúcar por hectárea** [40]

- ⇒ La huella de carbono del azúcar en México puede expresarse como:
(159.4 E3 kgCO₂e/año*ha) / (8.9 E3 kg/ha*año) = **2.02 kgCO₂e/kg**

Por otra parte, el análisis de la ENSANUT 2012 mostró que el consumo per cápita de azúcares totales fue de 364.5 kcal/año de las cuales 126.9 kcal fueron azúcares intrínsecos y 237.6 kcal de añadidos [41].

El azúcar tiene un valor energético de 4 cal/g

⇒ El consumo per cápita de azúcares en México es de: $(237.6 \text{ kcal/año}) / (4 \text{ kcal/kg}) = 59.4 \text{ kg/año*persona}$.

Por lo tanto, se calcula que la emisión de la ZMVM por el consumo de azúcares es aproximadamente:

$((60 \text{ kg/(año*persona)}) (2.0 \text{ kgCO}_2\text{e/kg})) (2.2 \text{ E7 persona}) = (121 \text{ kgCO}_2\text{e/(año*persona)}) (2.2 \text{ E7 persona}) = \underline{2.7 \text{ E9 kgCO}_2\text{e/año}}$

11.1.4 Trigo

Según el Panorama Agroalimentario - Trigo 2014 [60] emitido por la DIES (Dirección de Investigación Económica y Sectorial) México tiene las siguientes cifras en cuanto a producción y consumo de trigo:

Producción Nacional: **4.0 E9 kg/año**

Consumo Nacional: **7.3 E9 kg/año**

Consumo per cápita: **61 kg/persona*año**

Un estudio de huella de carbono en cereales [61] reporta la siguiente huella de carbono para el proceso productivo solo del cultivo de trigo: $384 \text{ kgCO}_2\text{e/t} = 0.38 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$.

Por otro lado, un artículo de la RIA (Revista de Investigaciones Agropecuarias) publicado en 2013 [62], informó que la huella de carbono del proceso completo, incluyendo: cultivo, molienda, panificación y transportes intermedios, es aproximadamente: **0.91 kgCO₂/kg**.

Sin embargo, el estudio mencionado anteriormente [61], aporta el dato de la fijación neta de CO₂ de estos cultivos, el cual es: **0.96 kgCO₂/kg**

Sabiendo esto, se puede concluir que la huella de carbono neta es: $0.91 - 0.96 \text{ kgCO}_2\text{e/kg} = -0.05 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$. Es decir que, tomando en cuenta la fijación de CO₂ de los cultivos, se concluye que la huella de carbono atribuida al consumo de trigo es nula, suficientemente pequeña para considerarse despreciable, o en el mejor de los casos, negativa. (Mismo caso que con las legumbres) Por este motivo no se realizan cálculos para estimar las emisiones atribuidas a este consumo.

11.1.5 Maíz

La misma fuente de la subsección anterior [61] (DIES), reporta que la fijación de los cultivos de trigo es de: $0.77 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$ de maíz cultivado. También se reporta que la huella de carbono del proceso productivo solo del cultivo es aproximadamente: $0.56 \text{ kgCO}_2\text{/kg}$. Suponiendo que la huella de carbono de los procesos ulteriores del maíz para hacer tortilla, no supera a la del proceso de cultivo, entonces se puede estimar que nuevamente la huella de carbono neta asociada a este producto es nula.

11.1.6 Otros vegetales

En la mayoría de los casos para el resto de este tipo de alimentos, no se hallaron datos prácticos que ayudaran a determinar ni consumos ni emisiones. Sin embargo, se sabe que la huella de carbono para la mayoría de las frutas y otros vegetales, es de aproximadamente: 0.5 kgCO₂/kg [17]. Suponiendo un consumo de frutas y verduras total de por lo menos el doble de: 8.7 E9 kg/año (consumo de carne total nacional) entonces, se tiene una emisión nacional de: $E_n = (0.5 \text{ kgCO}_2/\text{kg}) (8.7 \text{ E9 kg/año}) (2) = \mathbf{8.7 \text{ E9 kgCO}_2/\text{año}}$.

Por lo tanto, la emisión atribuida a la zona por el consumo de frutas y verduras será:

$$E_z = (8.7 \text{ E9 kgCO}_2/\text{año}) (0.17) = \mathbf{1.5 \text{ E9 kgCO}_2/\text{año}}$$

⇒ El total de emisiones generadas por el consumo de alimentos de origen vegetal (arroz, azúcar, legumbres, maíz, trigo y otros vegetales) en la ZMVM es: $(1.2 + 2.7 + 0 + 0 + 0 + 1.5) \text{ E9 kgCO}_2\text{e/año} = \mathbf{5.4 \text{ kgCO}_2\text{e/año}}$

11.2 Emisiones de CO₂ por el transporte

Análogamente a la estimación realizada en la sección 10.2, lo primero que se necesita saber es la distancia promedio que recorren estos productos para llegar desde su lugar de origen (productivo) hasta la zona, en donde son vendidos y consumidos. En este caso, por carecer del dato de la cantidad de productos que entran a la zona, y más aún, su procedencia geográfica, se atribuye a este tipo de alimentos una distancia promedio de 2000 km viales (imaginando que la mayoría de este tipo de alimentos son de origen nacional, y son traídos desde diferentes puntos de la república en un radio aproximado de 500km cuando menos).

Es importante señalar que, en esta aproximación, ya se requiere que estén incluidos los alimentos que vienen de otros países y por eso, se subirá la cifra de 500 a 2,000 km, para tratar de darle un peso considerable a las importaciones que, si bien pueden ser de proporciones menores en algunos casos, se sabe que estos vienen de distancias que pueden llegar a ser 10 o 20 veces más grandes. Por ejemplo, en el caso del arroz, donde el 80% es importado y viene de EE.UU., Argentina y Uruguay. Por otro lado, una nota publicada en el periódico Excelsior, a mayo de 2015, revela que según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), México importaba el 43% de los alimentos que consumía [55].

Con esta aproximación se tiene lo siguiente:

Consumo de alimentos de origen vegetal anual (país):

$$(16.5 \text{ (otros vegetales)} + 7.5 \text{ (azúcar)} + 1.1 \text{ (arroz)}) \text{ E9 kg/año} = \mathbf{2.5 \text{ E10 kg/año}}$$

Por lo tanto, el consumo de la zona sería: $(2.5 \text{ E10 kg/año}) (0.17) = 4.3 \text{ E9 kg/año} = \mathbf{4.3 \text{ E6 t/año}}$

Usando nuevamente el dato de intensidad energética dado por la SENER, se obtiene que la energía total empleada en el transporte anual de estos productos hacia la zona es:

$$(0.5 \text{ MJ/t*km}) (4.3 \text{ E6 t/año}) (2000 \text{ km}) = 4.3 \text{ E9 MJ/año} = \mathbf{4.3 \text{ E3 TJ/año}}$$

Por lo tanto, la emisión de CO₂ por el transporte anual de estos productos hacia la zona es:

$$(4.3 \text{ E3 TJ/año}) (7.3 \text{ E4 kgCO}_2/\text{TJ}) = \mathbf{3.1 \text{ E8 kgCO}_2/\text{año}}$$

11.3 Calor cedido al ambiente por el transporte

Para este cálculo se procede de manera análoga a la sección 10.3: Tomando el dato de energía empleada en el transporte anual de estos productos estimado en la sección anterior y sabiendo que esta energía tiene una disipación en forma de calor en un 70%, entonces el calor cedido al ambiente por esta actividad será esta misma energía convertida a unidades de kWh/año y multiplicada por un el factor de disipación de 0.7. Esto es: $(2.77 \text{ E-7kWh/J}) (4.3 \text{ E15 J/año}) (0.7) = \underline{\underline{8.4 \text{ E8 kWh/año cedidos al ambiente por el transporte de alimentos de origen vegetal hacia la ZMVM}}}$

12. Agua embotellada

José Joel Carrillo Rivera, académico del Instituto de Geografía de la UNAM, ha criticado los altos precios del agua embotellada, argumentando que sólo le quitan la sal y lo venden en un precio que no lo vale. “El agua entubada se puede consumir perfectamente, es bebible, lo importante, es lavar los tinacos y las cisternas, cuando menos dos veces al año”, asegura. Por otro lado, el agua embotellada comprada en el supermercado produce emisiones 1,150 veces superiores a las de la misma cantidad de agua tomada del grifo.

- ✓ Una botella de 500 ml produce 160 gCO₂e, contra los 0.14 gCO₂e del agua corriente [42].

Esto implica que el agua embotellada tiene una huella de carbono de: 320 gCO₂e/l = **0.32 kgCO₂e/l**

- ✓ México es el país del mundo que más agua embotellada consume con 28,453 millones de litros al año [43]
- ✓ Cada mexicano consume entre 215 y 234 litros anualmente [44]

12.1 Emisiones de CO₂e por el consumo

- ⇒ Las emisiones nacionales por el consumo de agua serán: $(2.8 \text{ E10 l/año}) (0.32 \text{ kgCO}_2\text{e/l}) = \mathbf{9.0 \text{ E9 kgCO}_2\text{e/año}}$
- ⇒ Las emisiones de la ZMVM por el consumo de agua serán: $(9.0 \text{ E9 kgCO}_2\text{e/año}) (0.17) = \mathbf{1.5 \text{ E9 kgCO}_2\text{e/año}}$

Por otro lado, usando el dato del consumo per cápita se obtiene:

Consumo anual ZMVM: $(225 \text{ l/año} \cdot \text{persona}) (2.2 \text{ E7 personas}) = \mathbf{495 \text{ E7 l/año}} = \mathbf{4.95 \text{ E6 t/año}}$

Emisión anual ZMVM: $(4.95 \text{ E9 l/año}) (0.32 \text{ kgCO}_2\text{e/l}) = \mathbf{1.6 \text{ E9 kgCO}_2\text{e/año}}$

Tomando el promedio de estas dos cantidades como la mejor aproximación para este resultado, se tiene que el total de emisiones generadas por el consumo de agua embotellada en la ZMVM es: **1.6 E9 kgCO₂e/año**

12.2 Emisiones de CO₂ por el transporte

Empezando por asociar una distancia promedio recorrida por este producto, desde la fábrica hasta su punto de venta, se estima que esta distancia se encuentra alrededor de los 10 km, según la siguiente figura:



Figura 16. Localización de algunas plantas embotelladoras de agua dentro de la ZMVM
Google Maps, 2018

La energía total utilizada en el transporte anual de este producto es:

$$(0.5 \text{ MJ/t*km}) (10 \text{ km}) (4.9 \text{ E6 t/año}) = 2.4 \text{ E7 MJ/año} = \mathbf{24 \text{ TJ/año}}$$

Por lo tanto, la emisión de CO₂ por el transporte anual de este producto en la zona es:

$$(24 \text{ TJ/año}) (7.3 \text{ E4 kgCO}_2/\text{TJ}) = \mathbf{1.7 \text{ E6 kgCO}_2/\text{año}}$$

12.3 Calor cedido al ambiente por el transporte

Análogamente a las secciones 10.3 y 11.3, para este cálculo se toma el dato de la energía necesaria para el transporte de este producto (24 TJ/año), y se multiplica por el factor de disipación de 0.7. Lo cual, convertido a unidades de kWh/año queda: $(2.77 \text{ E-7 kWh/J}) (24 \text{ E12 J/año}) (0.7) = \mathbf{4.6 \text{ E6 kWh/año cedidos al ambiente por el transporte de agua embotellada en la ZMVM.}}$

13. Refrescos

13.1 Emisiones de CO₂e por el consumo

Consumo nacional per-cápita de refrescos: 137 l/persona*año [15] = **164 kg/persona*año** ($\rho=1.2 \text{ kg/l}$)

Contenido de gas en refrescos: 5g/600ml [48] = $8.3 \text{ E-3 g/ml} = \mathbf{8.3 \text{ g/l}}$

- ⇒ El gas emitido por persona al año por el consumo de refrescos en México es:
 $(8.3 \text{ g/l}) (137 \text{ l/persona*año}) = \mathbf{1.13 \text{ kgCO}_2/\text{persona*año}}$
- ⇒ La emisión atribuida a la ZMVM por la liberación directa de este gas es: $(1.13 \text{ kgCO}_2/\text{persona*año}) (2.2 \text{ E7 persona}) = \mathbf{2.5 \text{ E7 kgCO}_2/\text{año}}$

Por otro lado, se tiene que la huella de carbono del producto en su proceso productivo en la fábrica es: **6.6 E-3 kgCO₂/l [88]**. Esto implica que las emisiones atribuidas al consumo de la Zona serán: $(1.4 E2 \text{ l}/(\text{persona} \cdot \text{año})) (2.2 E7 \text{ persona}) (6.6 E-3 \text{ kgCO}_2/\text{l}) = \mathbf{2.0 E7 \text{ kgCO}_2\text{e/año}}$

Por lo tanto, las emisiones netas atribuidas al proceso productivo de este producto son: = Emisiones de CO₂ intrínseco + Emisiones del proceso productivo (en planta) = 2.5 E7 kgCO₂/año + 2.0 E7 kgCO₂/año = **4.5 E7 kgCO₂e/año**

13.2 Emisiones de CO₂ por el transporte

Por otro lado, es necesario tener en cuenta el CO₂ emitido atribuido al transporte de estas bebidas. De los 800,000 puntos que surte la industria refresquera en todo el territorio nacional, el 67.7% corresponde a abarrotes y misceláneas que atienden mayoritariamente al consumo familiar, 32.3% corresponde a restaurantes, puestos semifijos, escuelas y otros establecimientos. Los supermercados sólo representan el 0.7% de los puntos de venta. Solo la empresa Coca-Cola cuenta con 56 plantas embotelladoras dentro del país. No se cuenta con el dato de cuántas plantas productoras y envasadoras de este producto (ajenas a la empresa Coca-Cola) existen en total en la república, sin embargo, se estima que deberían existir, por lo menos, el doble. A continuación, se muestra un mapa con algunos establecimientos embotelladores de refrescos encontrados dentro de la ZMVM [49].

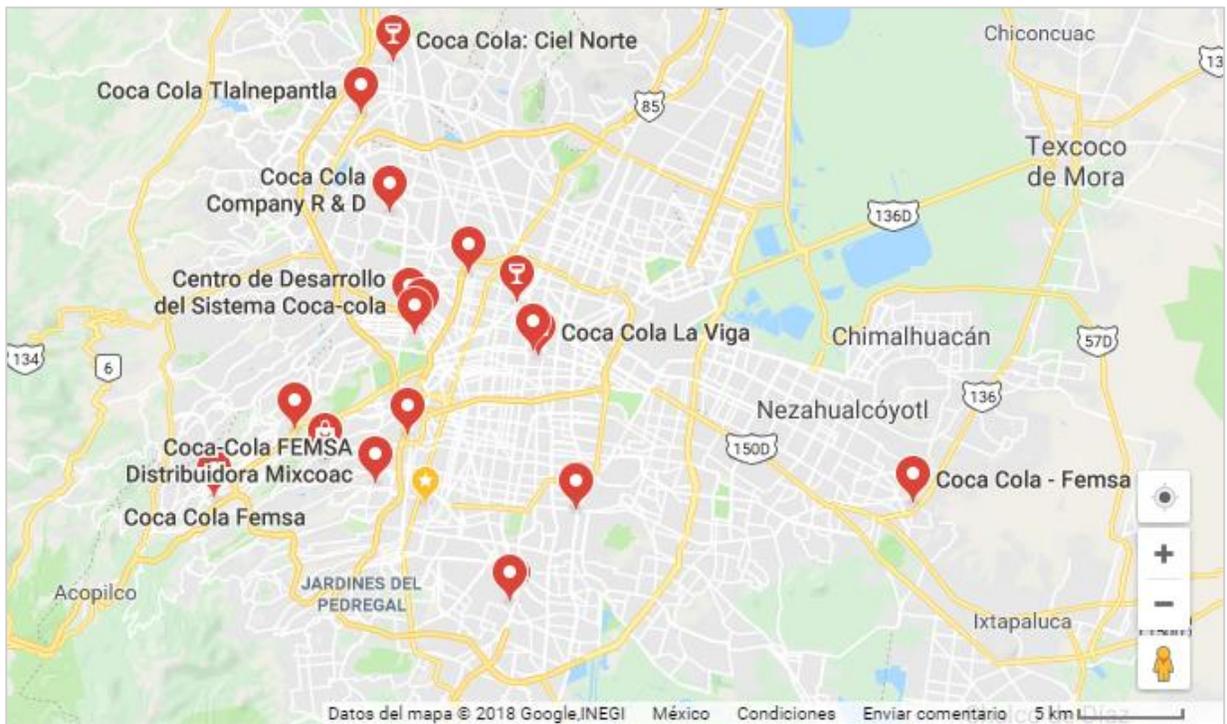


Figura 17. Localización de algunas plantas embotelladoras de refresco dentro de la ZMVM
Google Maps, 2018

Con ayuda de este mapa, se estima que estos productos recorren una distancia promedio de por lo menos **10 km** viales para llegar desde su origen hasta los diferentes puntos de venta.

El factor de consumo energético es: **0.5 MJ/t*km [58]**

El consumo total de refresco en la zona es: $(164 \text{ kg/persona} \cdot \text{año}) (2.2 \text{ E7 personas}) = 361 \text{ E7 kg/año} = \mathbf{361 \text{ E4 t/año}}$

Por lo tanto, la energía empleada será:

Energía empleada = $(0.5 \text{ MJ/t} \cdot \text{km}) (10 \text{ km}) (361 \text{ E4 t/año}) = 1,805 \text{ E4 MJ/año} = 1.8 \text{ E7 MJ/año} = \mathbf{18 \text{ TJ/año}}$

El factor de emisión del combustible de tipo diésel por unidad de energía empleada es: $\mathbf{73,385.5 \text{ kgCO}_2/\text{TJ}}$ [16]

Por lo tanto, la emisión de CO_2 por el transporte anual de estos productos en la zona es:

$(18 \text{ TJ/año}) (7.3 \text{ E4 kgCO}_2/\text{TJ}) = \mathbf{1.3 \text{ E6 kgCO}_2/\text{año}}$ emitidos por transporte de refrescos consumidos en la ZMVM.

13.3 Calor cedido al ambiente por el transporte

Tomando el dato de la energía necesaria para el transporte de este producto (18 TJ/año) y multiplicando por el correspondiente factor de disipación (0.7), entonces el calor cedido al ambiente por esta actividad será esta misma energía convertida a unidades de kWh/año. Esto es: $(2.77 \text{ E-7 kWh/J}) (18 \text{ E12 J/año}) (0.7) = \mathbf{3.5 \text{ E6 kWh/año}}$ cedidos al ambiente por el transporte de refrescos consumidos en la ZMVM

14. Cerveza

La cerveza mexicana tiene una larga historia. Las culturas mesoamericanas conocían las bebidas alcohólicas fermentadas, incluyendo la cerveza de maíz, mucho antes de la conquista española. Sin embargo, el estilo de cerveza europeo elaborado con cebada se introdujo poco después de la llegada de Hernán Cortés. La producción de esta cerveza se limitó durante el período colonial debido a la falta de ingredientes y a las restricciones impuestas por las autoridades españolas. Después de la Guerra de Independencia de México, estas restricciones desaparecieron, y se le permitió a la industria desarrollarla libremente.

Por otro lado, la llegada de inmigrantes alemanes y el imperio de Maximiliano I de Austria en el siglo XIX proporcionaron el ímpetu para la apertura de muchas fábricas en diferentes partes del país. En 1918, había 36 empresas de elaboración de la cerveza, pero desde entonces hasta la industria consolidada al día de hoy, sólo dos empresas, Grupo Modelo y FEMSA tienen el control del 90% del mercado mexicano de cerveza. Esta industria es una de las más fuertes del país, con más del 63% de la población comprando el producto de estas marcas. La cerveza es también uno de los mayores productos de exportación del país, la mayor parte va a los Estados Unidos, pero se exporta también a más de 180 países en todo el mundo [59].

14.1 Emisiones de CO_2 e por el consumo

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) reveló que durante 2016 el consumo de cerveza fue de 10 mil 442 millones de litros [51]. Multiplicando este dato por el factor de población (0.17) se obtiene el consumo atribuido a la zona: $(10,442 \text{ E6 l/año}) (0.17) = \mathbf{1.8 \text{ E9 l/año}}$

Ahora, para medir la cantidad de CO₂ que hay en una cerveza se habla de “volúmenes de CO₂”. La teoría dice que 1 volumen de CO₂ se define como el mismo volumen de gas disuelto en la misma cantidad de líquido. En la cerveza, que es lo que interesa, se hablaría de que 1 volumen de CO₂ sería 1 litro de CO₂ disuelto en 1 litro de cerveza. La mayoría de las cervezas se mueven en un rango de carbonatación de entre 2 y 3 volúmenes [52].

Por otro lado, la densidad del CO₂ a 0°C y a una presión de 1atm es: 0.00184 g/cm³

También se sabe que el CO₂ intrínseco promedio en una cerveza nacional es de: 2.5 volúmenes

Por lo tanto, el volumen total de CO₂ contenido en la cerveza consumida anualmente en la zona es:

$$(1.8 \text{ E9 l/año}) (2.5 \text{ volCO}_2) = 4.5 \text{ E9 volCO}_2 \cdot \text{l/año} = 4.5 \text{ E9 E3 cm}^3 \text{CO}_2/\text{año} = \mathbf{4.5 \text{ E12 cm}^3 \text{CO}_2/\text{año}}$$

Por lo tanto, la masa total del CO₂ contenido en esta cantidad de cerveza es y liberada al ambiente después de su consumo es: $(4.5 \text{ E12 cm}^3 \text{CO}_2/\text{año}) (0.00184 \text{ gCO}_2/\text{cm}^3 \text{CO}_2) = 0.0081 \text{ E12 gCO}_2/\text{año} = 8.1 \text{ E9 gCO}_2/\text{año} = \mathbf{8.1 \text{ E6 kgCO}_2/\text{año}}$ emitidos por la liberación del CO₂ intrínseco de la cerveza consumida en la ZMVM.

Adicionalmente, para estimar las emisiones atribuidas al proceso productivo en la planta cervecera, se tiene que considerar la respectiva huella de carbono, que es: **1.2 E-2 kgCO₂e/l [87]**. Esto implica que las emisiones atribuidas a esta etapa del proceso productivo son: Huella de carbono * Consumo = $(1.2 \text{ E-2 kgCO}_2/\text{l}) (1.8 \text{ E9 l/año}) = \mathbf{2.2 \text{ E7 kgCO}_2/\text{l}}$

Por otro lado, se sabe que el componente vegetal principal de la cerveza es la cebada. Y se sabe que, en promedio, para producir un litro de cerveza son necesarios 175 gramos de cebada [63]. Es decir que, si se toma en cuenta el consumo de cerveza de la zona (1.8 E9 l/año) se puede calcular fácilmente que el respectivo consumo de cebada es: $(1.8 \text{ E9 l/año}) (175 \text{ g/l}) = \mathbf{3.15 \text{ E8 kg/año}}$

Tomando el dato de fijación de CO₂ de la cebada: **1,040 kgCO₂e/t [61]**. Entonces se tiene que la fijación anual por el cultivo de esta cantidad de cebada es: $(1.04 \text{ kgCO}_2/\text{kg}) (3.15 \text{ E8 kg/año}) = \mathbf{3.27 \text{ E8 kgCO}_2/\text{año}}$.

Se puede ver que esta cifra es mayor que la obtenida por la liberación del CO₂ intrínseco y mayor que las emisiones del proceso productivo. De manera que la huella de carbono neta atribuida al consumo de cerveza en la ZMVM será en este caso negativa:

Emisiones netas del proceso productivo = Emisiones de CO₂ intrínseco + Emisiones del proceso productivo (en planta) – Fijación de CO₂ = $8.1 \text{ E6 kgCO}_2/\text{año} + 2.2 \text{ E7 kgCO}_2/\text{l} - 3.27 \text{ E8 kgCO}_2/\text{año} = \mathbf{-3.0 \text{ E8 kgCO}_2/\text{año}}$

14.2 Emisiones de CO₂ por al transporte

Usando un razonamiento análogo al de la sección anterior, lo primero que se necesita es estimar la distancia promedio que recorre este producto desde su planta envasadora hasta su punto de venta en la zona. La siguiente figura muestra las principales industrias cerveceras dentro del territorio nacional.

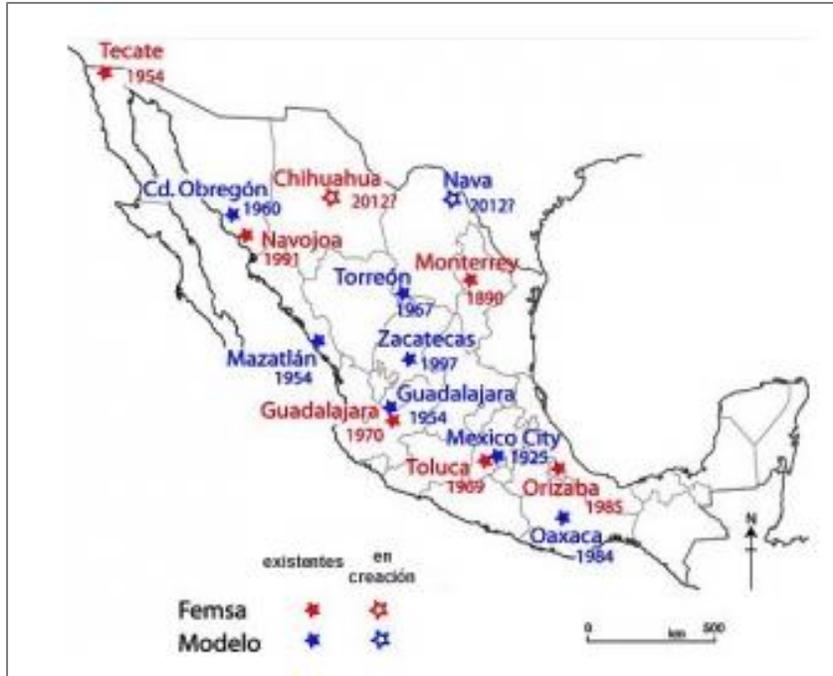


Figura 18. Localización de las principales fábricas de cerveza en México y año de su fundación (Raiola Networks, 2018) [52]

Usando este mapa, se puede estimar que la cerveza consumida en la zona debe venir de las fábricas ubicadas en CDMX, Toluca, Orizaba, Guadalajara y probablemente incluso desde Zacatecas, Oaxaca y algunas otras ubicadas o no en el mapa anterior. Sabiendo esto, se puede estimar en este caso una distancia promedio recorrida de por lo menos 200 km viales.

Este número resulta como promedio de: 10 km estimados desde la fábrica en la CDMX, alrededor de 50-100 km estimados desde la fábrica de Toluca y más de 300 desde el resto de fábricas nacionales que abastezcan a la zona. También se trata de incluir el consumo de cerveza importada que, si bien su porcentaje de consumo será claramente más bajo, la distancia recorrida será mucho más alta y por lo tanto debe ser tomada en cuenta para esta estimación.

Así pues, se estima que la energía necesaria para transportar este producto anualmente es:

$$(0.5 \text{ MJ/t*km}) (1.8 \text{ E6 t/año}) (200 \text{ km}) = 180 \text{ E6 MJ/año} = \mathbf{180 \text{ TJ/año}}$$

Usando una vez más el factor de emisión del diésel por unidad de energía empleada, se encuentra el total de emisiones por el transporte anual de este producto atribuido a la zona:

$$(180 \text{ TJ/año}) (7.3 \text{ E4 kgCO}_2/\text{TJ}) = \mathbf{1.3 \text{ E7 kgCO}_2/\text{año}} \text{ emitidos por el transporte de cerveza hacia la ZMVM}$$

14.3 Calor cedido al ambiente por el transporte

Tomando el dato de la energía necesaria para el transporte de este producto (180 TJ/año) y multiplicando por el correspondiente factor de disipación (0.7), entonces el calor cedido al ambiente por esta actividad será esta misma energía convertida a unidades de kWh/año. Esto es: $(2.77 \text{ E-7kWh/J}) (180 \text{ E12 J/año}) (0.7) = \mathbf{3.5 \text{ E7 kWh/año}}$ cedidos al ambiente por el transporte de cerveza en la ZMVM

15. Tabla de Resultados

Tipo			Calor cedido [kWh/año]	Emisión de GEI [kgCO ₂ e/año]
Orgánico	Humano	Entrada	1.9 E10	NS
		Salida	2.3 E10	NS
	Animal	Entrada	1.2 E9	NS
		Salida	4.0 E9	NS
Inorgánico	Quema de combustibles fósiles	Gasolinas	4.6 E10	1.7 E10
		Diésel	1.3 E10	4.7 E9
		Gas Natural	3.3 E10	7.3 E9
		Gas LP	2.6 E10	5.9 E9
	Electricidad	Termoeléctrica/ carboeléctrica	1.0 E11	2.0 E10
		Hidroeléctrica	9.0 E9	6.4 E8
Suministro de Agua		1.2 E10	2.6 E9	
Consumo y producción de alimentos y bebidas	Animal	Transporte	3.1 E8	2.7 E8
		Proceso productivo	NA	1.5 E10
	Vegetal	Transporte	8.4 E8	3.1 E8
		Proceso productivo	NA	5.5 E9
	Agua	Transporte	4.6 E6	1.7 E6
		Proceso Productivo	NA	1.6 E9
	Refrescos	Transporte	3.5 E6	1.3 E6
		Proceso Productivo	NA	4.5 E7
Cerveza	Transporte	3.5 E7	1.3 E7	
	Proceso Productivo	NA	-3.0 E8	
Total			2.7 E11	8.2 E10
Forzamiento Energético [W/m ²]			6.2 E-5	2.6 E-4

Las cifras marcadas en rojo no se toman en cuenta para la suma del total por tratarse de cifras ya contempladas en otros rubros de la misma tabla.

Notación: NS (No significativo), NA (No aplica)

16. Cálculo del Forzamiento Climático Energético

16.1 FCE por “calor cedido”

Como se ha dicho en secciones anteriores, tanto el “calor cedido” (forzamiento directo) como las “emisiones de GEI” (forzamiento indirecto), se cuantifican en última instancia como flujo energético en unidades de vatios por metro cuadrado (W/m^2) IPCC [64]. De esta forma, para exhibir el forzamiento energético actual, atribuido a la ZMVM, se convierte primero el valor de “calor cedido” (primera columna de la tabla), a unidades de potencia (W), posteriormente se divide este resultado entre el área superficial de la esfera que se encontraría en el tope de la troposfera a una altura de 10 km sobre la superficie terrestre. Esto es:

$$\text{Área de esfera “troposfera”}: 4\pi r^2 = 4(3.14)(6.4 \text{ E}3 \text{ km} + 10 \text{ km})^2 = 5.14 \times 10^8 \text{ km}^2$$

Calor cedido: 2.8 E11 kWh/año

Potencia por “Calor cedido”: (2.8 E14 Wh/año) / (8.76 E3 h/año) = 3.2 E10 W

FCE por “Calor cedido”: (3.2 E10 W) / (5.1 E8 km²) = (3.2 E10 W) / (5.1 E14 m²) = 6.2 E-5 W/m²

16.2 FCE por emisión de GEI

Por otro lado, se debe incluir al FCE, el forzamiento atribuido a las emisiones anuales de la zona estimadas. (segunda columna). De la figura 9, se tiene que el CO₂ presente en la atmósfera, es causante de un forzamiento radiativo de: **1.65 W/m²**. Sabiendo esto, solo se necesita conocer la masa de CO₂ enviada a la atmósfera desde el año 1800, para así compararlo con las emisiones de CO₂ de la zona obtenidas y encontrar un factor de proporción, que aplicado al FR por CO₂ mencionado, servirá para obtener el FR atribuido a la emisión de GEI de la zona. (Considerando dependencia lineal)

Para conocer la masa de CO₂ presente en la atmósfera, lo primero que se necesita saber es que el aire seco (sin humedad) y a 20°C tiene una densidad aproximada de 1.2 kg/m³ [65]. Sabiendo esto, la densidad de 1 ppm de 1m³ de aire es: (0.000001) (1.2 kg/m³) que es lo mismo que: **1 E-9 t/m³**. Esto significa que 408 ppm de 1m³ aire, significarían **408 E-9 t/m³** de aire. Pero como lo que se quiere saber es la masa de CO₂ presente en la atmósfera, hay que saber la relación que hay entre el peso molecular del dióxido de carbono respecto al del aire. Calculando entonces los pesos moleculares de cada molécula se tiene lo siguiente:

Peso molecular del CO₂: Sabiendo que el peso atómico del carbono es 12uma (unidades de masa atómica) y el peso atómico del oxígeno es 16uma. Se tiene entonces que el peso molecular del CO₂ es: (2) (16) + (12) = **44 uma**.

Peso molecular del aire seco: Como se muestra en la figura 6, se considera que el aire está formado en un 79% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de gases traza. Hay que tener en cuenta que se trata de nitrógeno y oxígeno molecular, es decir, formado por dos átomos de nitrógeno y dos átomos de oxígeno. El peso molecular del aire será pues el resultado de la siguiente operación: (0.79) (2) (14) + (0.21) (2) (16) = 28.8uma. Se acostumbra a escoger un valor aproximado de **29uma** para el peso molecular del aire seco [66].

Así, se tiene que la relación entre los pesos moleculares del CO₂ y del aire es **44/29**. Como se dijo en la sección 2.5, la medida de la concentración de CO₂ en la atmósfera más reciente (enero 2018) es de **408**

ppm, también se estima que la concentración de CO₂ en el periodo preindustrial (1800 d.C) se encuentra alrededor de las **290 ppm** [67]. Así pues, el CO₂ ha aumentado desde la época preindustrial hasta la fecha aproximadamente **120 ppm** (CO₂ antropógeno neto durante 200 años). Transformar esta cantidad a masa de CO₂ por metro cúbico de aire sería entonces: (120 E-9 t/m³) (1.2) (44/29) = **2.2 E-7 tCO₂/m³**.

Finalmente, para conocer la masa de CO₂ enviada a la atmósfera desde la época preindustrial, se tiene que multiplicar esta cifra por el volumen de la atmósfera terrestre. Tomando a la Tierra como una esfera perfecta con un radio de 6,378 km y considerando que la troposfera tiene una altura de 10 km, el volumen de la misma será:

$$V_{atm} = \frac{4}{3}\pi[(6388 \cdot 10^3 m)^3 - (6378 \cdot 10^3 m)^3] = 5 \cdot 10^{18} m^3$$

Así, la masa acumulada de CO₂ enviada a la atmósfera desde el año 1800 es: (2.2 E-7 tCO₂/m³) (5 E18 m³) = 11 E11 tCO₂ = 1.1 E12 tCO₂ = **1.1 E15 kgCO₂**. Como se muestra en la Figura 9, esta cantidad de CO₂ antropógeno, se traduce a 1.65 W/m² de forzamiento radiativo. Considerando una dependencia lineal del FR respecto a las emisiones de CO₂, entonces el FR atribuido a la emisión de GEI anual actual de la zona es: (8.2 E10 kgCO₂e) (1.6 W/m²) / (1.1 E15 kgCO₂e) = **1.19 E-4 W/m²**

Esto quiere decir que en un año la ZMVM contribuye en esta cantidad al FCE global.

FCE por “Emisión de GEI”: **1.19 E-4 W/m²**

Esta cifra también puede obtenerse, utilizando la ecuación dada por un artículo de Forzamiento Radiativo de la Revista Atmósfera [70] la cual se muestra expresada de la siguiente forma:

$$\Delta F = 5.35 \ln \frac{C}{C_0}$$

Donde ΔF es el forzamiento radiativo dado en unidades de W/m², C es la concentración de CO₂e presente en la atmósfera actualmente, y C₀ la respectiva concentración al inicio de la época industrial, es decir:

$$\Delta F (\text{global por CO}_2) = 5.35 \ln (408/290) = 5.35 (0.34) = \mathbf{1.82 W/m^2}$$

Esta cifra coincide bastante bien con el dato de FR del IPCC mostrado en la figura 9.

Así pues, para conocer el FR con el que contribuye la zona actualmente en un año, se tendría que considerar a C como la concentración global actual de CO₂e mas un año de emisiones de la zona “C + z”, y por otro lado la concentración C₀ será simplemente la concentración actual de CO₂e “C”. En otras palabras, se calculará el FR de un año (2019 contra 2018) considerando que durante todo el 2019 solo se agregaran a la atmósfera las emisiones de la zona estimadas anteriormente. Esto es válido ya que la función logaritmo natural tiene la siguiente propiedad:

$$\Delta F(ZMVM) = \ln\left(\frac{C+z}{C_0}\right) - \ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = \ln\left(\frac{\frac{C+z}{C_0}}{\frac{C}{C_0}}\right) = \ln\left(\frac{C+z}{C}\right) = \ln\left(1 + \frac{z}{C}\right)$$

Ecuación que en palabras se traduce a:

FR de la ZMVM en 1 año = “FR 2019” – “FR 2018” = “FR 2019 vs. 2018” = Expresión a evaluar

$$\Delta F(ZMVM) = 5.35 \ln\left(1 + \frac{8.2 E10}{1.1 E15 (1.6)}\right) = 5.35 \ln(1 + 4.83 \times 10^{-5}) = 5.35 \ln(1.0000483) = 0.00026$$

$$\Delta F(ZMVM \text{ por } GEI) = 2.6 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$$

Se puede ver que esta cantidad representa cerca del doble de la estimada anteriormente, sin embargo, se encuentran en el mismo orden de magnitud lo cual invita a pensar que ambos razonamientos son correctos. Se conserva esta cifra pues es evidente que el cálculo anterior es menos preciso por la consideración de dependencia lineal del FR contra la concentración de CO₂, lo cual sirve como primera aproximación, pero es incorrecto ya que como se ha visto, tiene una dependencia logarítmica.

Por otro lado, sería bueno conocer la proporción que guarda esta cifra con respecto a las emisiones anuales a nivel mundial y su correspondiente impacto energético. Para saber esto, se debe acudir a los datos del observatorio Mauna Loa, los cuales reportan que a en abril de 2018 la concentración de CO₂ fue de 410.31ppm, mientras que en abril de 2017 alcanzaba los 408.95 ppm. Esto significa que, en un año el planeta entero contribuyó a la concentración de CO₂ atmosférico aproximadamente en 1.36 ppm. Como se ha visto en el razonamiento anterior, esto se traduce a masa de CO₂ de la siguiente forma: (1.36 E-9 t/m³) (1.2) (44/29) = **2.47 E-9 t/m³**. Que una vez más, multiplicando por el volumen de la troposfera da como resultado: (2.47 E-9 t/m³) (5 E18m³) = 1.24 E10 t = **1.24 E13 kgCO₂**.

Utilizando una vez más de los datos de FR mostrados en la figura 9, se puede observar que el FR de los GEI diferentes del CO₂ representa un 63% de lo que es el FR propio del CO₂. Sabiendo esto, se puede aproximar que la masa de los GEI diferentes del CO₂ emitidos globalmente durante el último año (medida en unidades de CO₂e) es un 63% de la masa que se acaba de encontrar para el CO₂. Por lo tanto, se tendría una emisión anual global de GEI de aproximadamente: (1.24 E13 kgCO₂) (1.63) = **2.02 E13 kgCO₂e**.

La proporción entonces de la contribución anual de la zona contra la contribución anual mundial, al FR por GEI, es de: (8.5 E10 kgCO₂e) / (2.02 E13 kgCO₂e) = **4 E-3**. Es decir, un **0.42%**.

Finalmente, para atribuir una “emisión individual promedio” de los habitantes de la zona, en relación a la emisión individual media mundial, se tiene que tomar en cuenta la población mundial y la población de la zona. Si se toma que la “emisión individual promedio” por las emisiones globales es: (2.02 E13 kgCO₂e) / (7.35 E9 persona) = **2.7 E3 kgCO₂e/persona**. Y, por otro lado, si se considera que la “responsabilidad emisión-individual promedio” de un capitalino, por las emisiones de la zona es: (8.5 E10 kgCO₂e) / (2.2 E7 persona) = **3.86 E3 kgCO₂e/persona**. Entonces se pone de manifiesto, que el habitante promedio de la zona tiene una contribución de 44% por encima del promedio al FCE mundial.

17. Discusión y conclusiones

17.1 Transporte

Según nuestra Tabla de Resultados, se puede ver que la quema de combustibles fósiles, juega un papel muy importante tanto en el total de emisiones como en el gasto energético. Se puede ver también que la quema de gasolinás representa el 46% de la quema total de combustibles fósiles en la zona. Esto invita a concluir que el ciudadano promedio de la zona haría una contribución significativa a reducir su huella

ambiental, frecuentando y fomentando el uso de transporte público, principalmente la red de metro de la CDMX que no quema localmente combustible fósil para funcionar.

También es importante recomendar que, en cuanto a las políticas públicas de transporte, se siga invirtiendo en aumentar y mejorar el sistema de transporte público para así ayudar a reducir el FCE. Esto se puede apreciar más claramente según la siguiente figura dada por el Inventario de Emisiones 2014 de la ZMVM donde se muestran las emisiones relativas a cada tipo de transporte por unidad de distancia recorrida y por unidad de pasajero.

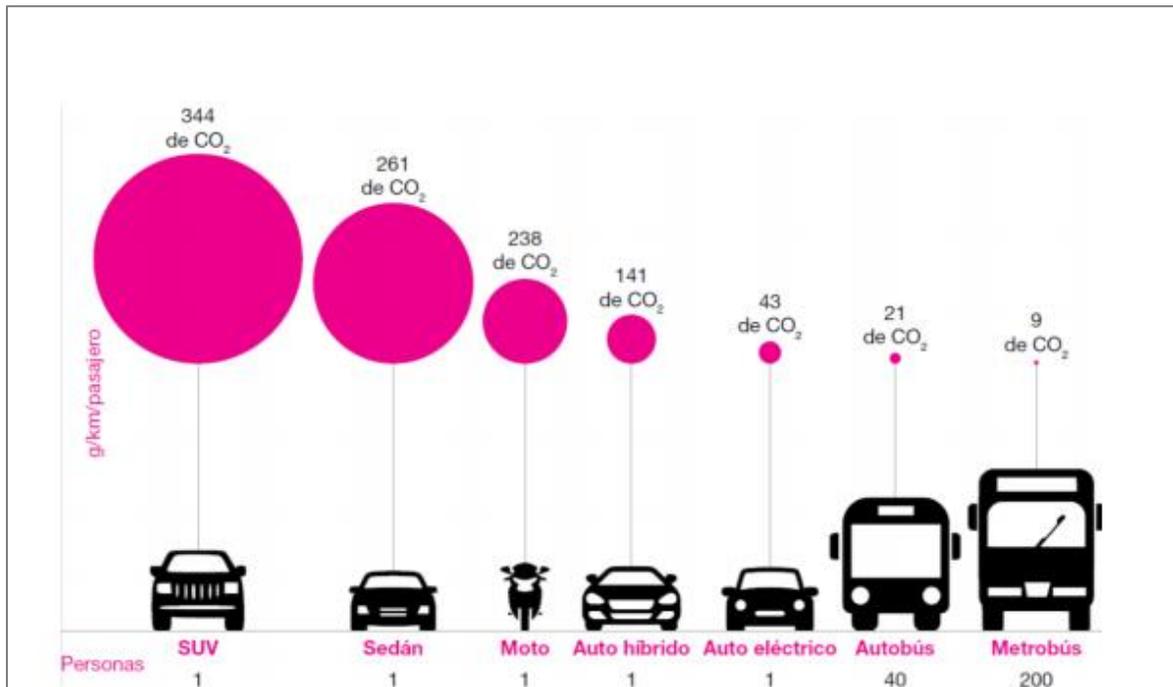


Figura 19. Capacidad de pasajeros y emisiones de CO₂ según el tipo de transporte (Inventario de Emisiones 2014) [6]

17.2 Electricidad

Respecto al gasto eléctrico, se puede ver en la tabla de resultados que solo la producción de la electricidad termo y carboeléctrica que consume la ZMVM es tan significativa, tanto en sus emisiones como en su gasto energético, como la sección completa de quema de combustibles fósiles. Esto significa que reducir el consumo eléctrico sigue siendo tan importante como fomentar el uso del transporte públicos. Por la misma razón, es importante seguir migrando del uso de las energías convencionales no renovables (quema de combustibles fósiles) por el uso de energías más limpias como pueden ser la energía hidroeléctrica, solar, geotérmica, eólica. etc.

La energía hidroeléctrica, por ejemplo, tiene un factor de emisión según la tabla 1 mostrada en la sección 6.5 de tan solo 38 kgCO₂e/MWh lo cual se traduce a **0.038 kgCO₂e/kWh**. Este es un dato bastante confiable, ya que para obtenerlo se han promediado los factores de emisión de 9 centrales hidroeléctricas lo cual otorga una muestra bastante respresentativa de las 57 que actualmente se encuentran funcionando. Por otro lado, las energías termo y carboeléctricas emiten según nuestros resultados **0.83 kgCO₂e/kWh**. Es decir, unas 20 veces más. A pesar de esto, es importante señalar que las emisiones de

las presas solo ocurren durante un tiempo determinado después de su construcción, ya que la materia orgánica que estaba al aire libre queda inundada produciéndose su putrefacción y las correspondientes emisiones. Es decir que, en las presas, esta materia orgánica eventualmente se descompone por completo y la presa “deja de emitir”

Esto implica que la energía generada con el paso de los años es mucho más limpia en cuanto a emisiones de GEI. Por otro lado, comparando el calor cedido al ambiente atribuido a estas energías se tiene que para la energía hidroeléctrica se cuenta con un factor de 1kWh emitido por cada kWh consumido, mientras que para las energías carbo y termoeléctricas se tiene según los resultados obtenidos, un factor de 3kWh de calor cedidos al ambiente por cada kWh útil generado. Se concluye entonces que la energía hidroeléctrica es mucho más limpia tanto en su forzamiento directo como indirecto (calor emitido y emisiones de GEI). Esto invita a pensar que deberíamos orientarnos como país a construir más centrales hidroeléctricas y empezar a dejar de lado las carbo y termoeléctricas. Sin embargo, hay que mencionar que no es tan sencillo implementar proyectos de energía hidroeléctrica, ya que existen muchos factores políticos, económicos, sociales y ambientales que afectan principalmente a las comunidades cercanas a la zona donde se pretende construir la presa. Ejemplos económicos-sociales pueden ser la expropiación de casas, y una merma considerable en el suministro de agua de la zona y ambientalmente se tiene el factor de la pérdida de ecosistemas y la deforestación entre otros.

En cuanto a otras formas de energías limpias y renovables, no está de más mencionar a la energía nucleoelectrica, que a pesar de que no emite calor ni GEI considerablemente, representa un peligro muy significativo para el medio ambiente. Ya que una falla o explosión en este tipo de plantas, puede significar la emisión de una contaminación radiativa inmensa que se propague por miles de kilómetros a la redonda durante décadas o siglos. Tal fue el caso del accidente de la central nuclear de Fukushima, Japón, ocurrido en 2011 y el famoso accidente de Chérbobil, en Ucrania ocurrido en 1986, ambos accidentes han dejado una huella radiativa y un efecto contaminante catastrófico sobre el medio ambiente.

Con lo anterior se considera que sería prudente migrar como país a formas de energía más limpias que la carbo y termoeléctricas, menos complicada que la hidroeléctrica y menos peligrosa que la nuclear. Ejemplos pueden ser la energía solar, la eólica y la geotérmica, que, si bien cada una tendrá a su vez su correspondiente impacto negativo en alguna dimensión social o ambiental, se considera que son opciones más rentables y menos contaminantes especialmente la energía solar.

17.3 Alimentos

Es interesante observar que, dentro de la sección de consumo de alimentos, los más significativos por su contribución al FCE (directo e indirecto) son los alimentos de origen animal. Estos contribuyen al FCE poco más del doble de lo que lo hacen en total todos los alimentos de origen vegetal. Entre las principales estrategias para mitigar las emisiones de CH₄ que se han propuesto, la manipulación dietética–nutricional parece ser la de mayor potencial, simplicidad y factibilidad. Muchos individuos a nivel nacional y mundial, optan por la reducción en el consumo de alimentos de origen animal, este hábito pretende disminuir la demanda y con ello la producción de carne principalmente y así disminuir estas emisiones y otros factores nocivos para el medio ambiente derivados de esta industria. Entre estos factores contaminantes destacan principalmente: el gasto excesivo de agua, la contaminación de los mares por heces fecales, y la pérdida de ecosistemas naturales con la extinción de especies que esto conlleva.

Es tal el impacto ambiental de la actividad ganadera, que recientemente se ha hecho muy popular la cultura del “veganismo” que consiste en la completa exclusión de alimentos de origen animal en la dieta diaria. En este trabajo de investigación se concluye que reducir individualmente el consumo de alimentos de origen animal, especialmente los cárnicos, contribuye significativamente a reducir el FCE, sin embargo, no se recomienda abandonarlos por completo debido a que estos son parte importante de la economía y sobre todo de la dieta integral y balanceada que debe tener el ser humano. Por otro lado, se recomienda también implementar en México políticas públicas serias de salubridad para los comercios y en general para todo el mercado de la carne. Ya que como se vio en la subsección 10.2.1 actualmente existe muy poco conocimiento de la procedencia y muy poco control de las condiciones de salubridad de los productos cárnicos de origen nacional.

Finalmente, es interesante resaltar que, dentro de los cárnicos, la huella de carbono más alta pertenece a la carne de borrego y de res: 20.4 y 15.2 kgCO₂/kg respectivamente. Como se puede apreciar en la subsección 10.1.1, esta huella es 3 veces mayor que la de la carne de cerdo y unas 6 veces mayor que la del pollo y el huevo. Viendo esto, se concluye que reducir el consumo de carne de borrego y res sería prioritario sobre el resto de alimentos de origen animal para ayudar a reducir las emisiones de este sector. Dentro de los alimentos de origen vegetal, se recomienda preferir el consumo de legumbres maíz y trigo por ser éstos los de menor huella de carbono.

17.4 Bebidas

Lo primero que hay que mencionar respecto a las bebidas consumidas en la zona, es lo referente al consumo de agua potable. Se ha visto que la ZMVM consume agua en diferentes proporciones misma que le llega desde los sistemas hidrológicos de servicio público, (sistema Lerma-Cutzamala, pozos, etc.) y desde servicios particulares a través de compañías privadas purificadoras y embotelladoras de agua. Para conocer la contribución relativa al FCE de cada una de estas fuentes de agua potable, se utilizaron los datos de emisión y consumo obtenidos en las secciones 7.3 y 12.2, respectivamente, y se encontró que el factor de emisión del agua suministrada por conducto de los servicios públicos fue de: **1.3 kgCO₂/m³** de agua suministrada, mientras que para el suministro de agua embotellada se encontró una huella de **323 kgCO₂/m³**.

Tomando esto en cuenta, es evidente que cada litro de agua “comercial” emite cerca de 300 veces más que un litro de agua de la llave. Bajo la luz de esta comparación, es indiscutible el valor ambiental que tiene favorecer y optar por el consumo de agua a través de los servicios públicos y tratar de reducir lo más posible el consumo de agua potable comercial. Tampoco hay que olvidar el hecho de que la producción y el consumo de agua potable comercial en la zona, genera millones de botellas de plástico tipo PET que es desechado anualmente. Un gran porcentaje de este plástico es desechado en tiraderos de basura y otra parte es reutilizado, siendo necesario invertir más gasto energético para el reciclaje del mismo.

Finalmente, en el caso de la cerveza y los refrescos, es interesante ver que la emisión de CO₂ por la liberación del gas intrínseco en los refrescos, es mayor que las emisiones atribuidas a su transporte las cuales suman un total de **4.6 E7 kgCO₂e/año**. Por otro lado, para el caso de la cerveza es muy interesante notar que la huella de carbono neta (incluido el transporte) es negativa: **-2.9 E8 kgCO₂/año**. Se puede ver que el consumo de una cerveza “fija” el CO₂e emitido por el consumo de aproximadamente 6 refrescos. Esto invita a recomendar el consumo de cerveza muy por encima del consumo de refrescos, ya que el mismo contribuye a disminuir el CO₂ presente en la atmósfera y por consecuencia a disminuir el FCE.

Adicionalmente de lo anterior, es importante decir que la mayoría de los refrescos tienen un alto contenido de azúcar y otros aditivos poco saludables. Estos ingredientes pueden causar desde diabetes, hasta piedras en los riñones, descalcificación ósea, obesidad y muchos otros padecimientos. Al contrario de lo que sucede con la cerveza, esta es una bebida relativamente saludable (si no se consume en exceso) y otorga buen contenido energético y también tiene un aporte al organismo significativo de vitaminas y minerales. Por estas razones, se recomienda ampliamente al habitante de la ZMVM reducir el consumo de refrescos y optar por bebidas más saludables y menos emisoras de GEI como la cerveza, o el agua natural.

17.5 Basura

A pesar de no contar con datos de la contribución que tiene la basura en términos energéticos al FCE, no está de más resaltar la importancia que tiene esta en el cambio climático. Se recomienda que los individuos de la ZMVM procuren reducir al máximo sus consumos de basura potencial, para mermar la creciente ola de desperdicios inorgánicos que está siendo generada de manera incontrolable bajo la influencia de la industria capitalista y del consumo masivo de mercancías sobre la que esta se sostiene. Reciclar o reutilizar estos residuos dentro de las posibilidades de cada individuo siempre será un factor muy favorable para contribuir a preservar el medioambiente.

Por último, se deja el reto para la comunidad científica y para los gobiernos alrededor del mundo, buscar soluciones para degradar, retirar, o eliminar de la mejor forma posible los residuos inorgánicos que conforman la isla de basura del Pacífico norte, mencionada en el capítulo 9. También se propone para el gobierno mexicano, implementar nuevas políticas respecto a la separación de la basura, ya que en México actualmente la basura se sigue tirando de forma heterogénea, lo que hace aún más difícil y laborioso el reciclaje de residuos categóricos como los son el PET, el vidrio, el papel, el aluminio, y los residuos orgánicos.

17.6 Tabla de los principales forzadores

Analizando la tabla de resultados, se encontró que los principales consumos del capitalino promedio, generadores de FCE son los siguientes:

Lugar	Concepto	Consumo per Cápita	FCE de la ZMVM [W/m ²]
1	Quema de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica	3.8 kWh/día	8.3 E-3
2	Quema de gasolinas para el transporte de individuos	0.93 l/día	6.2 E-3
3	Proceso productivo de cárnicos (res, puerco y pollo)	175 g/día	3.2 E-3
4	Proceso productivo de arroz y azúcar	16 g/día de arroz 160 g/día de azúcar	1.5 E-3
5	Consumo de agua potable (entubada)	240 l/día	0.94 E-3
6	Consumo de agua potable (embotellada)	620 ml/día	0.58 E-3

Tabla 10. Consumos forzadores de la ZMVM más representativos

El capitalino promedio puede comparar sus consumos diarios de estos bienes y servicios con el promedio de consumo per cápita presentado en esta tabla y así determinar en cuáles rubros está favoreciendo (si está por encima del promedio de consumo) o desfavoreciendo (por debajo del promedio) al FCE de la zona. Esta tabla tiene como objetivo entonces, ayudar al capitalino promedio a identificar cuáles de estos consumos puede reducir con el fin de generar un impacto ambiental positivo que ayude a reducir la temperatura del planeta sin descuidar su salud y bien estar individual.

Referencias (consultadas de junio 2017 a julio 2018 y enlistadas en orden de consulta)

1. Cuarto Informe de Síntesis de IPCC 2007, Quinto Informe del Grupo de Trabajo I de IPCC 2013
2. PEMEX “Anuario Estadístico 2014” Julio, 2017
http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/2014_ae_00_vc_e.pdf
3. Boletín de la sociedad Geológica Mexicana. “Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México” Julio, 2017
<http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/6803/%283%29Escolero.pdf>
4. Secretaria del Medio Ambiente “Inventario de Emisiones de la ZMVM 2010” (pág. 17) Octubre, 2017
<http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-criterio-2010/#p=18>
5. CFE “Reporte Anual 2016” (págs. 49, 51) Octubre, 2017
https://www.bmv.com.mx/docs-pub/infoanua/infoanua_748158_2016_1.pdf
6. Secretaria del Medio Ambiente “Inventario de Emisiones de la ZMVM 2014” Noviembre, 2017
<http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx2014-2/IE-CDMX-2014.pdf>
7. OCCC “Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)” Febrero, 2018
<http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531> (pág. 12,13)
8. Centro Mario Molina “Evaluación energética de los actuales sistemas de aguas urbanas y propuestas de manejo de los recursos hídricos en la Ciudad de México” Marzo, 2018
http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/05/12.-Evaluaci%C3%B3nEnergeticaAguasUrbanasDF_fin.pdf
9. Environmental Working Group “Meat Eaters Guide” (pág. 19,27) Marzo, 2018
http://static.ewg.org/reports/2011/meateaters/pdf/methodology_ewg_meat_eaters_guide_to_health_and_climate_2011.pdf
10. Adendum México - Atlas de la Carne 2016 Marzo, 2018
https://mx.boell.org/sites/default/files/hbs_ac_122016_web_pages.pdf
11. SAGARPA “Producción de Carne Ovina 2013” (pág. 5) Junio, 2018
<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Documents/MANUALES%20INIFAP/Manual%20Producci%C3%B3n%20de%20Carne%20Ovina.pdf>

12. SAGARPA “Plan Rector Sistema Producto Ovinos (2015-2024)” (pág. 26) Junio, 2018
http://spo.uno.org.mx/wp-content/uploads/2016/05/plan_rector_ovinos2016.pdf.pdf
13. Ballesteros, K. Sotelo, K. “Estimación de la huella de carbono para una hectárea cultivada con caña de azúcar desde una perspectiva orgánica” Junio, 2018
https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Gonzalez_Quintero/post/Does_anyone_have_data_on_the_production_of_organic_sugar_cane_to_conduct_a_LCA_study/attachment/59d6238879197b8077981d9b/AS%3A307670085505024%401450365672595/download/Ballesteros+y+Sotelo+-+Estimaci%C3%B3n+de+la+CF+para+una+una+Ha+cultivada+con+ca%C3%B1a+de+azucar+dsde+una+pe+rpectiva+organica.pdf
14. ONUAA, “Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura” Julio, 2018
<http://www.fao.org/3/a-i4260s.pdf>
15. Meza, C. “Investigación del mercado de la industria refresquera en México y sus factores de éxito”. Septiembre, 2018
<http://eprints.uanl.mx/5219/1/1020148191.PDF>
16. Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf
17. Chardí, L., “Huella de carbono generada por el consumo de frutas y verduras en España” Septiembre, 2018
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75962/TFM_Laura%20Chard%C3%AD%20Puchalt.pdf?sequence=3
18. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242012000200006
19. <http://www.elhorizonte.mx/finanzas/conoce-cuantos-litros-de-gasolina-se-consumen-diariamente-en-mexico/1673628>
20. <http://www.microsiervos.com/archivo/ecologia/que-es-emision-co2-kilometro-recorrido.html>
21. <https://nergiza.com/cuanta-energia-se-escapa-de-tu-cuerpo-en-forma-de-calor/>
22. <http://vidaabuelo.com/calorias-adecuadas-en-el-adulto-mayor-parte-2/>
23. <http://www.lacronica.com/EdicionEnLinea/Notas/VidayEstilo/08102015/1015398-Sabias-que-de-cada-100-hogares-en-Mexico-70-tienen-una-mascota.html>
24. <https://objetivobeagledegado.wordpress.com/2014/03/09/cuantas-calorias-al-dia-necesita-mi-perro/>
25. https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/6/12859473459080/17.cna-agua_potable_zona_metropolitana_25ago10.pdf
26. https://virtual.upaep.mx/bbcswebdav/institution/portales/ingenierias/bachilleratos/Contaminacion_del_Agua/SISTEMA%20CUTZAMALA.pdf
27. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/34-anos-de-operacion-del-sistema-cutzamala?idiom=es>
28. <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/ambiente/basura.aspx?tema=T>
29. http://www2.cec.org/site/PPE/es/mexico_all_emissions
30. http://www.gas.pemex.com.mx/NR/rdonlyres/D3D851A9-FDE6-4F68-8FD1-3CC6E50163E4/0/HojaSeguridadGasLP_v2007.pdf (pág. 6)

31. <http://www.elquintopoder.cl/medio-ambiente/las-represas-hidroelectricas-fabricas-de-gases-invernadero/>
32. <http://cide.uach.mx/pdf/carne.pdf>
33. http://infosiap.siap.gob.mx/anpecuario_siapx_gobmx/ResumenNacional.do
34. <https://www.vanguardia.com.mx/articulo/consumen-los-mexicanos-132-litros-de-leche-al-ano>
35. <http://www.manufactura.mx/industria/2014/11/07/mexicanos-consumen-6-kg-de-queso-al-ano>
36. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449944863002> (pág. 30)
37. <http://www.jornada.unam.mx/2016/09/07/sociedad/034n1soc>
38. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/colima/boletines/Paginas/2014B102.aspx>
39. <https://regeneracion.mx/aunque-no-lo-creas-frijoles-ayudan-a-reducir-la-emision-de-gases/>
40. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5343244&fecha=02/05/2014
41. <https://www.insp.mx/epppo/blog/3609-consumo-azucar-mexico-nueva-directriz-oms.html>
42. <http://www.responsabilidadsocial.mx/la-huella-de-carbono-de-la-vida-cotidiana/>
43. <http://www.economiahoy.mx/nacional-eAm-mx/noticias/7318458/02/16/Mexico-el-pais-que-mas-agua-embotellada-consume-1341-pesos-al-ano-en-garrafrones.html>
44. <http://www.sinembargo.mx/25-03-2017/3181164>
45. <http://bioquimicacarnicos.blogspot.mx/2010/02/1-componentes-quimicos-de-la-carne.html>
46. <http://www.edualimentaria.com/frutas-hortalizas-frutos-secos-composicion-propiedades>
47. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>
48. <http://co2enlacocacologingeraleyfresca.blogspot.mx/>
49. <https://mx.kompass.com/a/embotellado-y-ensado-de-refrescos/0499029/>
50. <http://www.ditransa.com.co/NuestraOferta/TypeOfVehicle.aspx>
51. <https://www.diariodemexico.com/%C2%BFcu%C3%A1nta-cerveza-consume-un-mexicano-la-semana>
52. <https://cervezomicon.com/tag/volumenes-de-co2/>
53. <https://expansion.mx/economia/2009/07/08/8-estados-con-mayor-sacrificio-de-ganado>
54. <http://www.excelsior.com.mx/node/719830>
55. <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2013/05/05/897514>
56. <https://www.monografias.com/docs/Cu%C3%A1ntas-plantas-hidroel%C3%A9ctricas-tiene-m%C3%A9xico-en-operaci%C3%B3n-PKYVKJXYBZ>
57. <https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/gigantesca-isla-basura-residuos-pacifico-triplico-tamano-francia-noticia-506988>
58. Indicadores de Eficiencia Energética en México (pág. 9)
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85305/Bibliograf_a_6.pdf
59. <https://www.tiposdecerveza.com/mexicana/>
60. FIRA “Panorama Agroalimentario - Trigo 2014” (pág. 17, 22) Octubre, 2018
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99098/Panorama_Agroalimentario_Trigo_2014.pdf
61. Altuna, S. et al. “Huella de carbono de los cereales” Noviembre, 2018
<https://www.navarraagraria.com/categories/item/257-huella-de-carbono-de-los-cereales-analisis-de-la-emision-de-gases-de-efecto-invernadero-en-el-sector-agroalimentario>
62. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142013000300011
63. <http://www.ingenieriaquimica.org/recursos/5-pasos-para-fabricar-cerveza-casera>
64. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

65. <https://www.defensacentral.com/ustedpregunta/categoria/ciencia/cuanto-pesa-el-aire/>
66. <https://abcenciade.wordpress.com/2008/07/20/concentracion-de-dioxido-de-carbono-en-ppm/>
67. <http://lanuevaedaddehielo.blogspot.com/2010/07/el-co2-en-la-epoca-preindustrial.html>
68. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007
https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/figure-ts-5.html
69. <https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/forzamiento-radiativo.htm>
70. Mendoza, et al. (2015) Fozamiento Radiativo, *Atmósfera* 28, 217-219
71. <https://concienciaticlimatica.com/2016/01/24/correlacion-entre-ta-y-co2/>
72. www.reaserchgate.net
73. www.areaciencias.com
74. <https://cienciasocialesanpa.wordpress.com>
75. https://es.wikipedia.org/wiki/Equilibrio_t%C3%A9rmico_de_la_Tierra#Balance_radiativo_de_la_Tierra
76. <https://www.efeverde.com/noticias/oceano-absorbe-25-emisiones-co2-lo-que-cause-acidificacion-sin-precedentes/>
77. <http://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema06.pdf>
78. <http://www.enfasegas.com/PRODUCTOS-Y-SERVICIOS/Dioxido-de-carbono/>
79. INECC “Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México” Diciembre, 2018
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf
80. <http://www.cec.org/sites/default/napp/es/north-american-emissions/greenhouse-gases.php>
81. https://es.wikipedia.org/wiki/Central_terminoel%C3%A9ctrica
82. https://www.construmatica.com/construpedia/T%C3%A9cnicas_de_medici%C3%B3n_termogr%C3%A1fica._Midiendo_la_emisividad
83. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/stefan.html>
84. https://es.wikipedia.org/wiki/Estructura_disipativa
85. https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Otto
86. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud
<https://istas.net/istas/guias-interactivas/cambio-climatico-y-sus-efectos/cambio-climatico/clima-y-sistema-climatico>
87. <http://ilovechela.com/wp/2016/08/17/salud-la-huella-de-carbono-de-la-cerveza-artesanal-health-the-carbon-footprint-of-craft-beer/>
88. <https://www.coca-colamexico.com.mx/historias/huella-ecologica-de-una-lata-de-coca-cola>
89. Raymond R. Tan, Ph.D. and Alvin B. Culaba, Ph.D. “Estimating the Carbon Footprint of Tuna Fisheries” Febrero 2019.
http://awsassets.panda.org/downloads/estimating_the_carbon_footprint_of_tuna_fisheries_9may2009.pdf
90. <https://expansion.mx/economia/2018/03/29/las-tres-razones-por-las-que-los-mexicanos-aman-el-atun>