



TRANSPORTE

Sostenibilidad del Transporte. Emisiones.

Unidad 7.C – 7.D

Descripción breve

Efecto invernadero. Gases Efecto Invernadero (GEI). Potencial de Calentamiento Global (PCG)
Protocolo de Kioto. Propuesta Argentina.
Marco internacional y nacional sobre el cambio climático
Desarrollo Sostenible del Transporte. Sistemas Sostenibles de Transporte de Mercancías.
Emisiones de fuentes móviles. Determinación.
Ejercicio de aplicación

Ing. Civil Gustavo Luis Pastor
ingpastorh@gmail.com

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	3
2	¿QUÉ ES EL EFECTO INVERNADERO?	3
3	¿CUÁLES SON LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?	4
4	¿QUÉ ES EL POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL?	4
5	¿QUÉ ES EL CAMBIO CLIMÁTICO?.....	4
5.1	Impactos observados y esperados.....	5
6	ACTIVIDADES DE QUEMA DE COMBUSTIBLES.....	6
7	PROTOCOLO DE KIOTO	8
7.1	Propuesta Argentina para mitigación del calentamiento global	9
7.2	Situación actual.....	9
8	MARCO INTERNACIONAL.....	10
8.1	¿Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático?	10
8.2	¿Qué son el Acuerdo de París y la Contribución Nacionalmente Determinada?	11
9	MARCO NACIONAL.....	11
9.1	Gabinete Nacional de Cambio Climático	11
10	¿QUÉ ES EL DESARROLLO SOSTENIBLE?	11
11	DESARROLLO SOSTENIBLE DEL TRANSPORTE	12
12	LOS SISTEMAS SOSTENIBLES DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS: OPORTUNIDADES PARA LOS PAÍSES EN DESARROLLO	12
12.1	El transporte sostenible de mercancías: requisito previo para el desarrollo sostenible	13
12.2	Tendencias actuales de los volúmenes del transporte de mercancías	14
12.3	Tendencias actuales y futuras del consumo de energía y las emisiones en el aire.....	15
12.4	Algunas cuestiones que amenazan la sostenibilidad del transporte de mercancías	16
12.4.1	Costos de la energía y del transporte	16
12.4.2	Energía, medio ambiente y emisiones de carbono	17
12.4.3	Acceso, conectividad e infraestructura	17
12.5	Promover la sostenibilidad del transporte de mercancías.....	18
13	Ejemplo de medidas de intervención y actividades en pro de la sostenibilidad	21
14	EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTE MÓVILES.....	22
14.1	Opciones tecnológicas para la reducción de emisiones del transporte	23
14.1.1	Tipo de vehículo e infraestructura.....	23
14.1.2	Tamaño del vehículo: partiendo de la base de aumentar la capacidad de carga por unidad de potencia de la unidad motriz.....	24
14.1.3	Tipo de combustible	25
14.2	¿Qué son las normas Euro?	26

14.3	Tipos de filtro o post-procesamiento de gases de emisión	27
14.3.1	Filtros de partículas para diesel (DPF)	28
14.3.2	Filtro de Oxidación Catalítica (OC)	28
14.3.3	Recirculación de gases de escape (EGR)	29
14.3.4	Reducción Catalítica Selectiva (SCR)	29
14.3.5	Three-way catalytic converter (TWC) – Convertidor catalítico de tres vías	31
14.4	EMISIONES. DETERMINACIÓN. RESUMEN	32
15	EJERCICIO DE APLICACIÓN:	36
15.1	Datos	36
15.2	Determinar	37
15.3	RESOLUCIÓN	37
15.3.1	Vehículos particulares	37
15.3.2	Transporte público de pasajeros	38
15.4	Respuestas	40
15.4.1	Emisión Total Anual en toneladas/año (Tn/año)	40
15.4.2	Cambio de combustible e incorporación de SCR	40
15.4.3	Comparar resultados.	40
15.4.4	Determinar emisiones en función de los pasajeros transportados anualmente.	41
16	BIBLIOGRAFÍA	44

1 INTRODUCCIÓN

La forma de ocupación de las grandes áreas urbanas, de las cuales Latinoamérica presenta una sostenida concentración de habitantes en las mismas, trae asociada una gran cantidad de problemas entre los que destacamos los relacionados a la movilidad y sus emisiones:

- Un patrón caótico de circulación de personas y mercancías. Graves problemas de abastecimiento a sectores de alta densidad. Falta de infraestructura adecuada.
- **Congestión**, pérdida de tiempo en el traslado de cargas y personas. **Contaminación ambiental por emisiones de fuentes fijas y móviles.**

En síntesis, hay un fuerte proceso de degradación y contaminación ambiental que conlleva a la pérdida de calidad de vida de los ciudadanos.

El diagnóstico ambiental sobre la calidad del aire en distintas ciudades del mundo y en particular en Mendoza muestra claramente que **las emisiones vehiculares representan la fuente más importante del deterioro de su calidad del aire.**

Más aún se espera que estas emisiones aumenten como consecuencia de un aumento del tránsito automotor.

2 ¿QUÉ ES EL EFECTO INVERNADERO?

El efecto invernadero es un proceso natural por el cual los gases que están presentes en la atmósfera "atrapan" la radiación que la Tierra emite al espacio.

Esta emisión de la Tierra es producto del calentamiento de su superficie por la incidencia de la radiación solar (ver ilustración). Así, el efecto invernadero hace que la temperatura media de la Tierra sea de alrededor de 33 °C, más que si este proceso no ocurriera.

"Cuando la luz solar llega a la superficie de la Luna, la temperatura puede alcanzar los 123° C. El "lado oscuro de la luna" puede alcanzar temperaturas de -153 C."

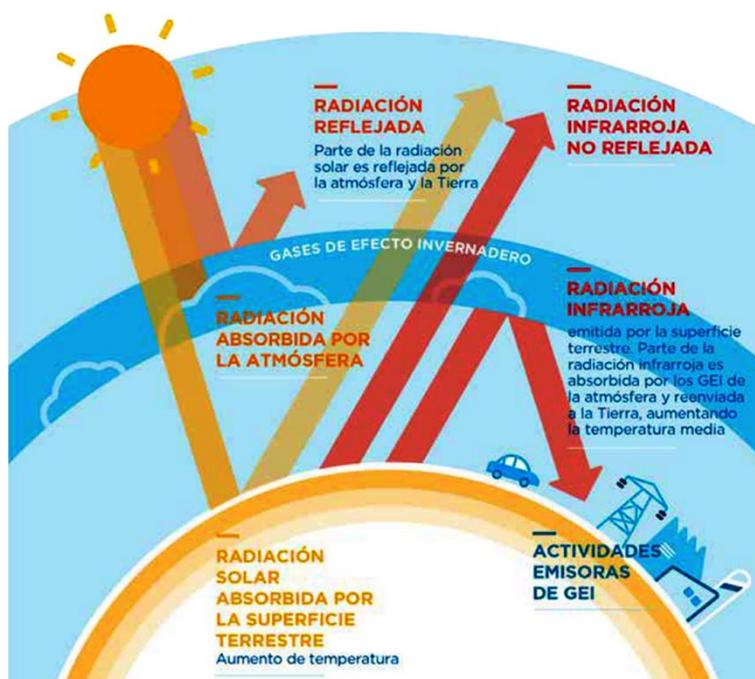


Figura 1. Efecto invernadero

3 ¿CUÁLES SON LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO?

Asimismo, aunque la superficie terrestre, los océanos y los hielos son calentados directamente por el Sol, no absorben toda la energía. Parte de ésta es devuelta hacia la atmósfera como otro tipo de energía que, una vez en ella, es retenida momentáneamente por el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y otros gases, como los clorofluorocarbonos (CFC), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), el óxido nitroso (N₂O) y el hexafluoruro de azufre (SF₆), entre los más importantes. Los gases que tienen esta propiedad de retención se denominan GEI (gases de efecto invernadero).

También el vapor de agua presente en la atmósfera realiza una contribución importante al efecto invernadero, pero no se contempla debido a que su concentración no varía producto de las actividades antrópicas (cumple el ciclo del agua).

4 ¿QUÉ ES EL POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL?

El potencial de calentamiento global (PCG) es una medida de la capacidad que tienen diferentes GEI en la retención del calor en la atmósfera, ya que no todos los gases absorben la radiación infrarroja de la misma manera ni todos tienen igual vida media en la atmósfera. Figura 2.

El gas utilizado como referencia para medir otros GEI es el CO₂, por lo que su potencial de calentamiento global es igual a 1. Cuanto más alto sea el PCG que produce un gas, mayor será su capacidad de retención del calor en la atmósfera. Más calentamiento global produce.

Esta planilla permite unificar, en función del potencial de calentamiento global de cada uno de los gases, el total de millones de toneladas en una sola unidad: CO₂equivalente.

Al desarrollar el tema emisiones se verá la importancia que se presta a nuevas tecnologías, tipo de combustibles o tratamientos post combustión para disminuir su cantidad, mitigar o modificar su composición de manera de bajar la cantidad de GEI que se genera en la combustión de motores.

Gas	Fuente Emisora	Persistencia de las moléculas en la atmósfera (años)	Potencial de Calentamiento Global (PCG) Horizonte de tiempo: 100 años
CO₂ DIÓXIDO DE CARBONO	Quema de combustibles fósiles, cambios en el uso del suelo, producción de cemento.	Variable	1
CH₄ METANO	Quema de combustibles fósiles, agricultura, ganadería, manejo de residuos	12±3	21
N₂O ÓXIDO NITROSO	Quema de combustibles fósiles, agricultura, cambios en el uso del suelo	120	310
CFC CLOROFLUOROCARBONOS	Refrigerantes, aerosoles, espumas plásticas	2.600-50.000	6.500-9.200
HFC HIDROFLUOROCARBONOS	Refrigerantes líquidos	1,5-264	140-11.700
SF₆ HEXAFLUORURO DE AZUFRE	Aislantes térmicos	3.200	23.900

Figura 2. Potencial de calentamiento Global (PCGB). Horizonte de tiempo: 100 años. Fuente: Second Assessment Report, IPCC, 1995. http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php

5 ¿QUÉ ES EL CAMBIO CLIMÁTICO?

El clima de la Tierra ha cambiado muchas veces a lo largo de la historia. Esta variación se debió a cambios naturales que se han producido en el equilibrio entre la energía solar entrante y la energía reemitida por la Tierra hacia el espacio.

Sin embargo, desde la Revolución Industrial se han multiplicado exponencialmente las actividades antrópicas vinculadas con la quema de combustibles fósiles, procesos industriales y generación de residuos urbanos. Esto, además, fue acompañado por la expansión de la agricultura, la ganadería y la deforestación.

Todo esto ha producido y sigue produciendo cambios antropogénicos persistentes que provocan el aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera por encima de los niveles naturales, incrementando así el efecto invernadero y causando el cambio climático.

5.1 Impactos observados y esperados

Los impactos del cambio climático se definen como sus consecuencias en sistemas humanos y naturales. En la Tercera Comunicación Nacional (TCN) se estimaron los impactos observados y esperados para nuestro país. Figura 3



Figura 3. Cambio climático. Impactos observados y esperados en Argentina

Sector energía en Argentina. Este sector incluye todas las emisiones de GEI que emanan de la combustión y las fugas de combustibles. Las emisiones de usos no energéticos de combustibles no suelen incluirse en este sector, sino que se declaran dentro de Procesos industriales y uso de productos. La figura 4, sintetiza la distribución correspondiente al Inventario 2014.

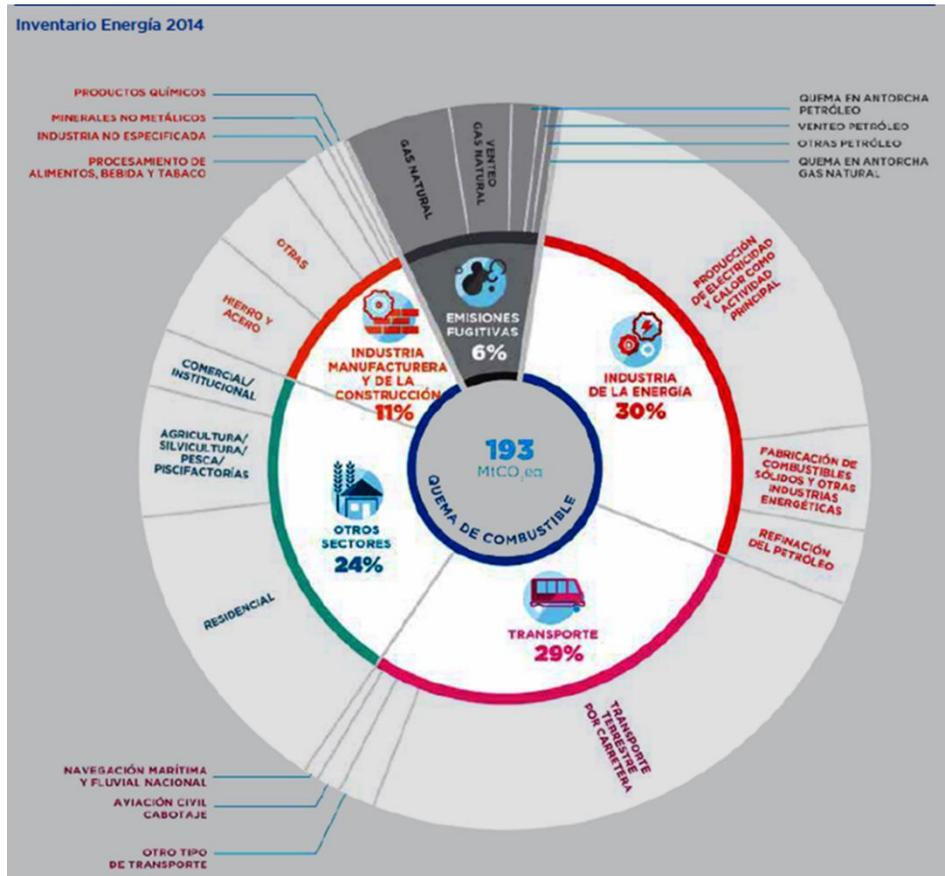


Figura 4: Inventario Energía 2014. Distribución de quema de combustibles.

6 ACTIVIDADES DE QUEMA DE COMBUSTIBLES.

Son las emisiones de la oxidación intencional de materiales dentro de un aparato diseñado para calentar y proporcionar calor como calor o como trabajo mecánico a un proceso o bien para aplicaciones fuera del aparato.

Emisiones en Transporte

Incluye las emisiones de la quema y la evaporación de combustible para todas las actividades de transporte, independientemente del sector, especificado por las categorías que se presentan a continuación. Deben excluirse, lo máximo posible, las emisiones de combustible vendido a cualquier aeronave o nave marítima dedicada al transporte internacional.

- Aviación civil: Emisiones de aviación civil internacional y de cabotaje, incluidos despegues y aterrizajes. Abarca el uso civil comercial de aviones, incluyendo: tráfico regular y charter para pasajeros y carga, taxis aéreos y aviación general. La división entre vuelos internacionales/de cabotaje debe determinarse en base a los lugares de salida y de llegada de cada etapa de vuelo y no por la nacionalidad de la línea aérea.
- Transporte terrestre: Todas las emisiones de la quema y la evaporación que emanan del uso de combustibles en vehículos terrestres.
- Ferrocarriles combustibles: Emisiones del transporte por ferrocarriles, tanto en rutas de tráfico de carga como de pasajeros.
- Navegación marítima y fluvial: Emisiones de combustibles usados para impulsar naves marítimas y fluviales, incluyendo aerodeslizadores y aliscafos, pero excluyendo naves

pesqueras. La división entre rutas internacionales / nacionales debe determinarse en base a los puertos de salida y de llegada y no por la bandera o nacionalidad del barco.

- Otro tipo de transporte: Las emisiones por la quema de todas las demás actividades de transporte, incluidos el transporte por tuberías, las actividades terrestres en aeropuertos y puertos y las actividades en rutas no pavimentadas no declaradas en otras categorías.

Teniendo en cuenta esta categorización, puede observarse en Figura 5 las emisiones calculadas a partir de las ventas de combustibles líquidos en la república Argentina.

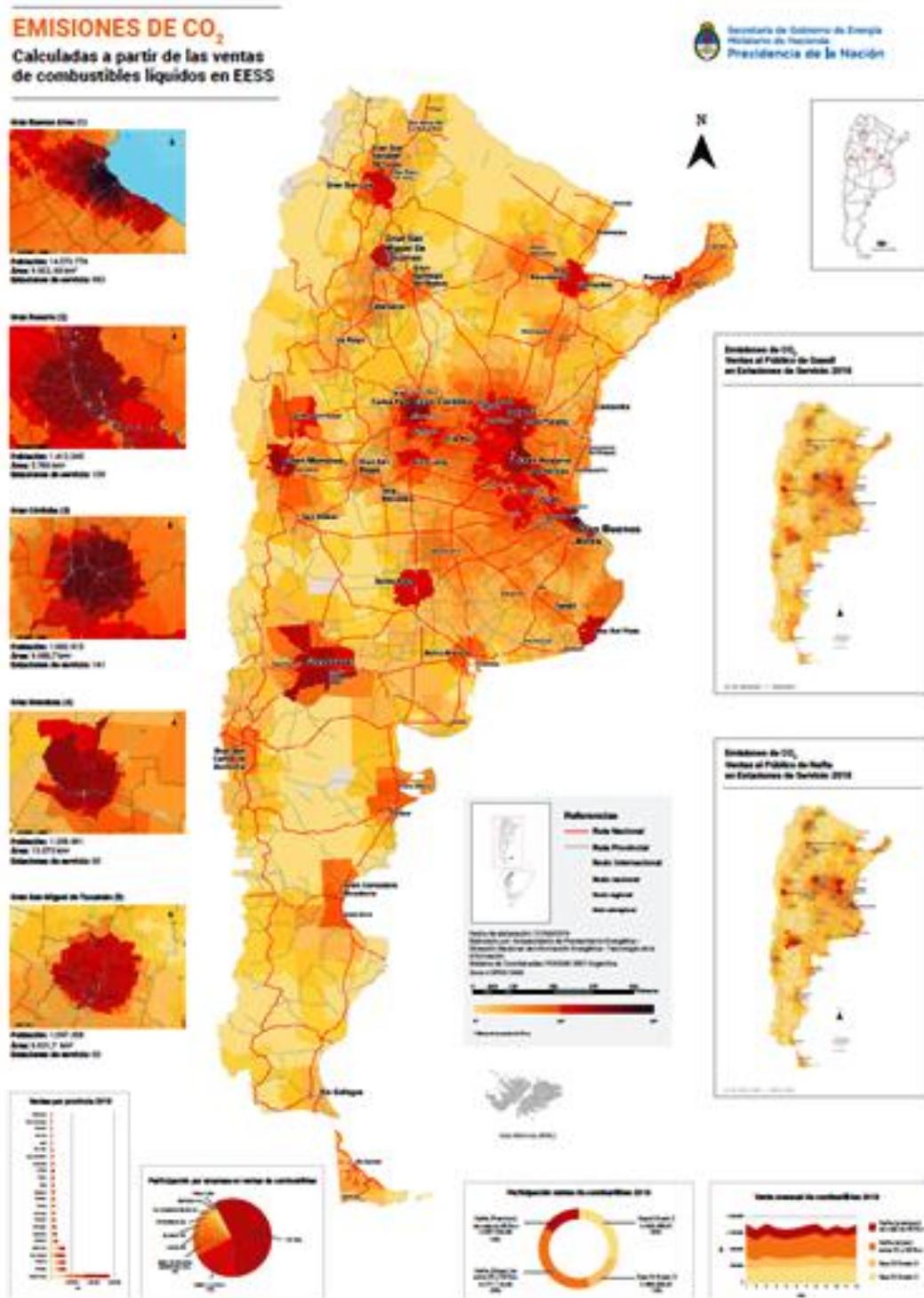


Figura 5. Emisiones en CO₂eq. en Argentina.

La Figura 6, sintetiza para el año 2014, el Inventario de Emisiones en la república Argentina distribuido por cada organismo de aplicación. Observamos que el sector transporte aporta un 15% de 386,3 millones de toneladas de CO₂equivalente

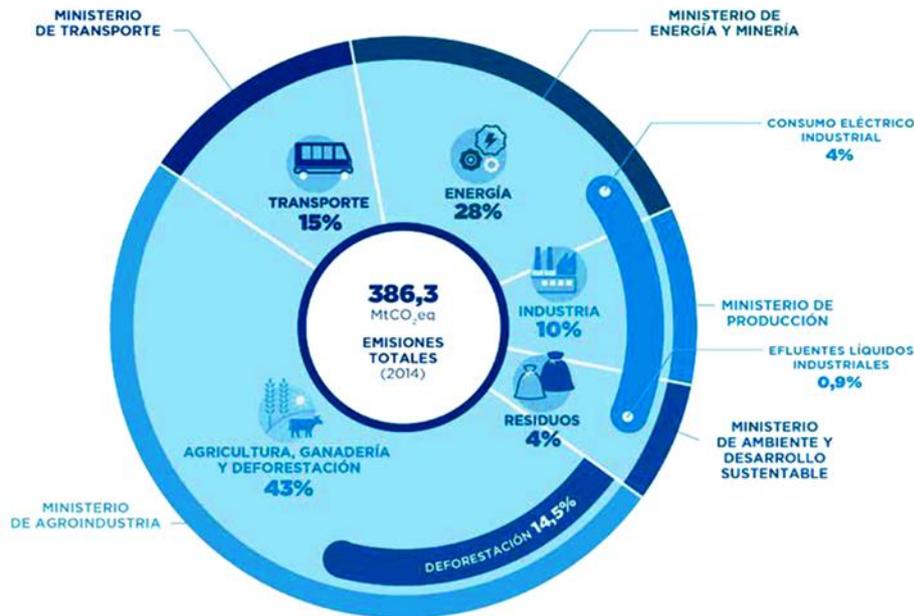


Figura 6: Datos Inventario 2014 – Distribución por organismo de aplicación

7 PROTOCOLO DE KIOTO

Las negociaciones del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se completaron el 11 de diciembre de 1997, y *comprometen a las naciones industrializadas a alcanzar objetivos específicos, legalmente obligatorios, de emisiones de seis gases del efecto de invernadero*. El tratado se abrió a la firma el 16 de marzo de 1998.

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un instrumento internacional que tiene por objeto reducir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global, dióxido de carbono, gas metano y óxido nitroso; además de tres gases industriales fluorados, Hidrofluorocarbonos, Perfluorocarbonos y Hexafluoruro de azufre; en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del periodo que iba desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990.

Es preciso señalar que esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un 5%, sino que este es un porcentaje a nivel global y, por el contrario, cada país obligado por Kioto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe disminuir.

Este instrumento se encuentra dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro.

La Unión Europea, como agente especialmente activo en la concreción del Protocolo, se comprometió a reducir sus emisiones totales medias durante el periodo 2008-2012 en un 8% respecto de las de 1990. No obstante, a cada país se le otorgó un margen distinto en función de diversas variables económicas y medioambientales según el principio de "reparto de la carga", (p.ej: Francia (0%), España (+15%), Portugal (+27%)).

7.1 Propuesta Argentina para mitigación del calentamiento global

La república Argentina, en Octubre de 2015, propuso dos metas alternativas orientadas a la mitigación del calentamiento global.

La primera, denominada **incondicional**, alude a que la Argentina puede cumplir con recursos humanos y económicos propios la reducción de un 15% de las emisiones de GEI para 2030. Esta aproximación al problema se reconoce internacionalmente como BAU (“business-as-usual” o “todo sigue como siempre”).

La otra meta es denominada **condicional**, porque la reducción de emisiones a la que se comprometería la Argentina se elevaría al 30% para 2030 respecto de las emisiones proyectadas en un escenario BAU, si se cumplieran ciertas condiciones.

A saber:

- financiamiento externo adecuado y predecible,
- colaboración internacional en materia de transferencia y desarrollo de tecnologías,
- apoyo internacional a la creación de las capacidades necesarias.

7.2 Situación actual

“Se cumplen 20 años del tratado de Kioto, en el que por primera vez las naciones reconocían el riesgo asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero y la necesidad de controlarlas. Mientras lo esperable sería poder celebrar este aniversario, en realidad hay bien poco que celebrar, pues no estamos un ápice más cerca de evitar los riesgos del cambio climático que lo estábamos en 1997. Más bien, estamos mucho más lejos.

De hecho, las emisiones de gases de efecto invernadero acumuladas han aumentado más de un 50%, de 22 a 36 miles de millones de toneladas de equivalentes de CO₂, con lo que hemos ido dejando atrás escenarios posibles de cambio climático suave. Este aumento nos ha colocado a las puertas de una situación crítica en el que cambios climáticos irreversibles, como el deshielo del Ártico, son ya una realidad y en la que algunos ecosistemas vitales, como los arrecifes de coral se asoman a una situación casi crítica.

Sólo nueve países incumplieron el compromiso. El compromiso de los países firmantes era “reducir el total de sus emisiones de esos gases a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012”. Entonces, ¿es que incumplieron estas naciones sus compromisos en el marco del protocolo de Kioto?

La realidad es que no lo incumplieron. De los 36 países que adoptaron este compromiso, solo 9 – incluida España - incumplieron su compromiso, pero los demás lo cumplieron de forma sobrada, de forma que las emisiones en estos países se redujeron más de lo esperable. De hecho, estos países redujeron sus emisiones en un 24%. A esto contribuyó el colapso de la Unión Soviética, con la crisis económica de los países de su esfera y, más recientemente, la crisis económica global, que también contribuyó a ralentizar el ritmo de crecimiento de las emisiones.

Pero los países firmantes no incluían ni a EEUU ni Canadá, países que aumentaron notablemente sus emisiones y que, de haberse incluido en el protocolo, habrían resultado en su incumplimiento en términos globales.” https://www.lespanol.com/ciencia/20180105/protocolo-kioto-logro-fracaso/272842718_12.html

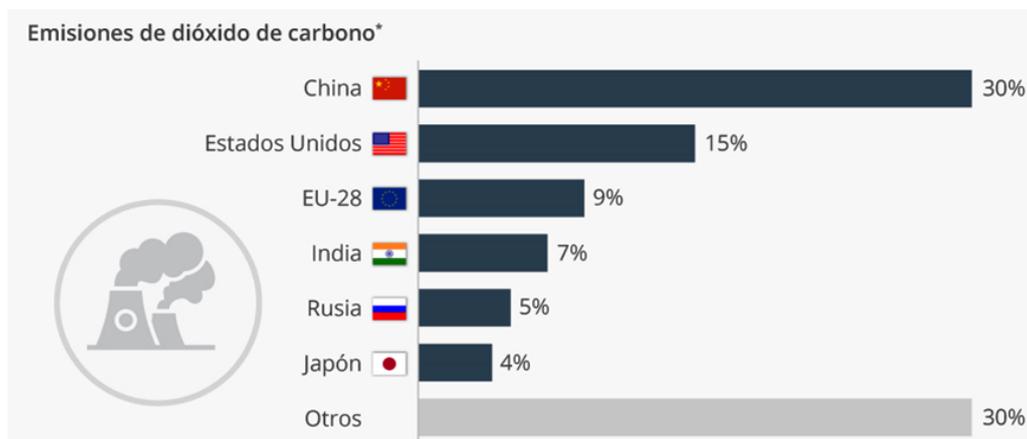


Figura 7. Los países más contaminantes del mundo. Fuente: <https://es.statista.com/>



Figura 8. Emisión de GEI por sectores a nivel mundial. Fuente: <https://es.statista.com/>

8 MARCO INTERNACIONAL

8.1 ¿Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático?

La CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (CMNUCC) es el marco multilateral de implementación de los esfuerzos internacionales para enfrentar los desafíos del cambio climático.

Desde su adopción en 1992 hasta la actualidad, se han desarrollado sucesivas reuniones: CONFERENCIAS DE LAS PARTES (COP), que han llevado a que se modifiquen las obligaciones y responsabilidades de los países que forman parte de la CMNUCC.

A partir de 2014, los países en desarrollo tienen la obligación de presentar cada dos años los REPORTE BIENALES DE ACTUALIZACIÓN (BUR, por su sigla en inglés). El contenido de este reporte es información actualizada sobre los inventarios nacionales de GEI, las necesidades de apoyo tecnológico y técnico e información sobre las medidas de mitigación y su respectiva metodología de monitoreo, reporte y verificación. Debido al requisito de completitud de la información necesaria para la estimación de un inventario de GEI, los BUR reportan las emisiones totales correspondientes a las actividades desarrolladas dos años antes.

8.2 ¿Qué son el Acuerdo de París y la Contribución Nacionalmente Determinada?

Las CONTRIBUCIONES NACIONALMENTE DETERMINADAS (NDC, por su sigla en inglés) son las acciones que todos los Estados Parte de la CMNUCC deben llevar a cabo para intensificar sus esfuerzos contra el cambio climático, ya sea para reducir las emisiones de GEI (acciones de mitigación) o para adaptarse a los impactos producidos por ese fenómeno (acciones de adaptación). Las contribuciones son establecidas por los países en función de sus circunstancias nacionales y respectivas capacidades.

La presentación de las NDC sirvió como base para la concreción del ACUERDO DE PARÍS. El objetivo a largo plazo de este acuerdo es fortalecer la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático para mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C sobre los niveles preindustriales y limitar ese aumento a 1,5 °C, lo que reducirá considerablemente los riesgos y el impacto del cambio climático.



Figura 9. Línea de tiempo de hitos nacionales e internacionales

9 MARCO NACIONAL

9.1 Gabinete Nacional de Cambio Climático

En 2016 se creó por decreto presidencial N° 891/16 el Gabinete Nacional de Cambio Climático, bajo la órbita de Jefatura de Gabinete de Ministros. El Gabinete Nacional agrupa a 12 ministerios y tiene como objetivo el diseño de políticas públicas consensuadas, con una mirada estratégica para reducir las emisiones de GEI y generar respuestas coordinadas para la adaptación de sectores vulnerables a los impactos del cambio climático. Asimismo, promueve el fortalecimiento de capacidades y la concientización de la sociedad en la materia.

El trabajo del Gabinete se estructura en base a reuniones periódicas en mesas de trabajo que incluyen una mesa ministerial (instancia política), una mesa nacional de puntos focales de cada ministerio (instancia técnica), mesas de articulación provincial a través del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA) y mesas temáticas ampliadas que reúnen a actores gubernamentales y representantes de la sociedad civil, el sector científico, de trabajadores y privados.

El Gabinete Nacional apoyó el proceso de firma y ratificación del Acuerdo de París y lideró el proceso de revisión de la Contribución Nacional durante el año 2016.

10 ¿QUÉ ES EL DESARROLLO SOSTENIBLE?

Se podría definir el desarrollo sostenible como la forma responsable de gestión del presente sin comprometer el futuro. La trascendencia política del término “desarrollo sostenible” se deriva de la Declaración de Río, que fue adoptada por los gobiernos participantes en la Cumbre de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en la ciudad de Río de

Janeiro (Brasil), en junio de 1992. De los 27 artículos que componen dicha declaración, el primero establece:

La Declaración de Río constituye un documento que contempla, por primera vez y con rango internacional, una política ambiental integrada y de desarrollo, teniendo presente no solo a los habitantes actuales del planeta sino también a las futuras generaciones.

11 DESARROLLO SOSTENIBLE DEL TRANSPORTE

Por lo que respecta al **desarrollo sostenible aplicado al sector del transporte**, cabe poner de manifiesto, por un lado, que la incidencia actual del transporte de mercancías puede controlarse mediante una serie de puntos que, a modo de termómetro social, pueden utilizarse para controlar la fortaleza del sector. Entre otros muchos posibles, destacamos:

- Emisiones de CO₂ en transportes.
- Concentración de contaminantes en zonas urbanas, peri urbanas y rurales.
- Cambios en los usos del suelo.
- Movilidad y flujos de transporte, por modos y ámbitos territoriales.
- Consumo de energía/PIB, por sectores.

Sobre la base de las deficiencias localizadas, los principales objetivos a cubrir se resumen en la mejora de la participación de los transportes más respetuosos con el entorno en el reparto modal de mercancías, así como la introducción y la difusión de tecnologías limpias.

Las principales medidas a poner en marcha para cubrir dichos objetivos se resumen en:

- Paliar las consecuencias de la fragmentación del territorio y del patrimonio natural por infraestructuras de transporte.
- Potenciar en el Plan Nacional de I+D+i (investigación, desarrollo e innovación) las acciones estratégicas orientadas hacia el transporte y la Movilidad sostenible.
- Incentivar programas piloto de desarrollo de tecnologías, sistemas de transporte y vehículos que contribuyan a una movilidad sostenible.
- Promover la equidad de acceso a las infraestructuras en todos los ámbitos territoriales.
- Impulsar una creciente integración de la planificación territorial y urbana con la de los transportes.
- Impulsar las actuaciones integradas que favorezcan una reducción de las necesidades de movilidad, en todos los modos de transporte. Promoción de los modos de transporte de menor impacto ambiental.
- Fomentar políticas incentivadoras del uso de transporte de menor consumo de energía y menos contaminante.
- Promover modelos económicos y sociales con menor dependencia de la movilidad y de los transportes de mercancía.

12 LOS SISTEMAS SOSTENIBLES DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS: OPORTUNIDADES PARA LOS PAÍSES EN DESARROLLO

Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo Junta de Comercio y Desarrollo. Comisión de Comercio y Desarrollo. Reunión Multianual de Expertos sobre Transporte, Logística Comercial y Facilitación del Comercio. Cuarto período de sesiones Ginebra, 14 a 16 de octubre de 2015. Tema 3 del programa provisional.

Resumen

El transporte de mercancías se encuentra en un momento crítico en que es posible definir y comprender mejor su función para lograr los objetivos de desarrollo sostenible.

El transporte de mercancías sirve de base para el comercio y su competitividad y es esencial para el acceso, la conectividad y la integración económica a nivel nacional, regional y mundial. Sin embargo, este sector tiene un gran potencial por explotar, ya que se podría obtener más valor del transporte de mercancías si se redujera su dependencia del petróleo y se aumentara su capacidad de ofrecer acceso manteniendo al mismo tiempo la fiabilidad, la eficiencia y la resiliencia, y también se paliarán sus efectos adversos sobre el medio ambiente y el clima.

12.1 El transporte sostenible de mercancías: requisito previo para el desarrollo sostenible

Las definiciones existentes del transporte sostenible pueden variar y promover una determinada dimensión como **el medio ambiente** (transporte verde), **la sociedad** (transporte incluyente) o **la economía** (transporte eficiente y competitivo). Sin embargo, por lo general **el transporte sostenible de mercancías pretende equilibrar las dimensiones económica, social y ambiental del sector de manera integrada para lograr más sinergias, complementariedades y coherencia**. Figura 10.

Sin pretender dar una lista exhaustiva, los sistemas sostenibles de transporte de mercancías comportan, entre otras características, la capacidad de proveer servicios de transporte seguros, socialmente incluyentes, accesibles, fiables, asequibles, eficientes en el consumo de combustible, respetuosos con el medio ambiente, bajos en carbono y resilientes a los impactos y trastornos, incluidos los causados por el cambio climático y las catástrofes naturales. La Figura 10 representa la intersección entre las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo sostenible en su aplicación al transporte de mercancías.



Figura 10. Los tres pilares del transporte sostenible de mercancías

12.2 Tendencias actuales de los volúmenes del transporte de mercancías

El transporte de mercancías aumenta paralelamente a la población mundial, las necesidades de consumo, la actividad industrial, la urbanización, el comercio y el crecimiento económico. La estrecha correspondencia estadística entre el producto interno bruto (PIB), la producción industrial y el comercio ha quedado demostrada desde hace tiempo, como puede verse a continuación en la Figura 11.

Se prevé que para 2050 el transporte internacional de mercancías se multiplique por un factor de 4,3 (en comparación con 2010); y las pautas comerciales también están cambiando: un tercio del comercio mundial en 2050 será entre economías en desarrollo (en comparación con el 15% en 2010).

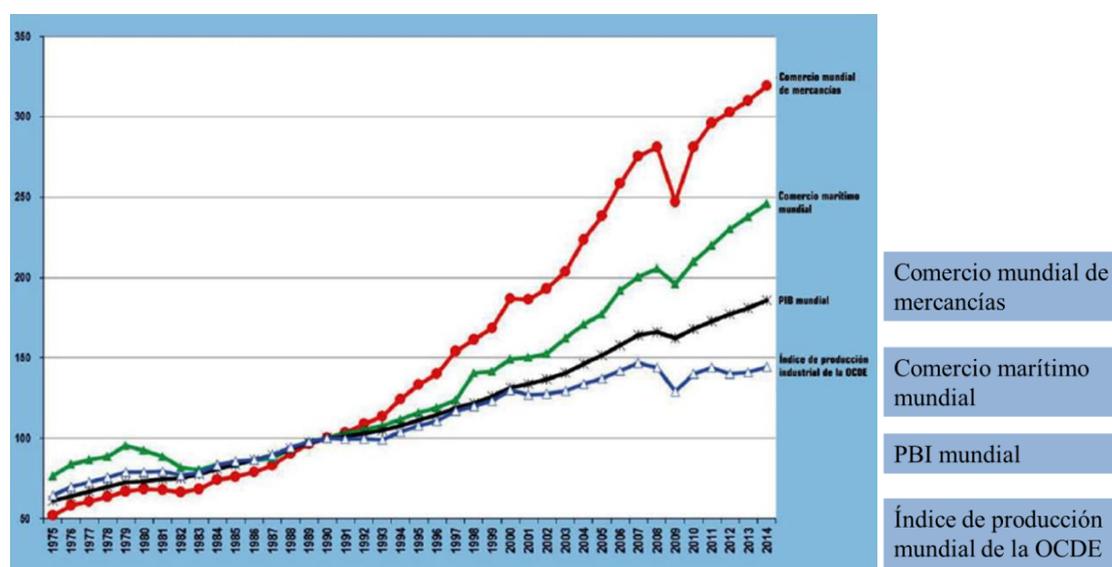


Figura 11. Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE): índice de producción industrial e índices mundiales: PIB, comercio de mercancías y comercio marítimo (1975-2014) (1990 = 100)

Se prevé que para 2050 el transporte internacional de mercancías se multiplique por un factor de 4,3 (en comparación con 2010); y las pautas comerciales también están cambiando: **un tercio del comercio mundial en 2050 será entre economías en desarrollo** (en comparación con el 15% en 2010).

Se espera que, impulsados por el crecimiento de Asia, en particular China y la India los volúmenes del transporte de carga por carretera y por ferrocarril aumenten en un 230% y un 420%, respectivamente, para 2050 (con respecto a 2010), según cuál sea la repercusión del crecimiento del PIB en el transporte. Está previsto que la proporción del transporte por carretera dentro del tonelaje del transporte internacional se incremente en un 40% para 2050. Mientras tanto, los volúmenes del transporte marítimo, que representan más del 80% del comercio mundial de mercancías, se estiman en 9.800 millones de toneladas en 2014, lo que supone un incremento del 3,4% con respecto a 2013. Como consecuencia del desplazamiento de la influencia económica hacia el este y hacia el sur, los países en desarrollo contribuyen partes cada vez mayores del PIB y del comercio mundiales y en los últimos años se han convertido en grandes importadores y exportadores. **En 2014, un total del 61% y del 60% del comercio mundial se cargó y descargó, respectivamente, en puertos de países en desarrollo.**

Esas pautas de crecimiento se vieron apoyadas por la globalización y por la fragmentación de los procesos de producción internacionales, ya que las cadenas de suministro y las redes de transporte vinculaban las distintas regiones y centros económicos a grandes distancias. La globalización, la mayor fuerza de los consumidores y las nuevas exigencias influyen en las diversas modalidades del transporte de mercancías. **A menudo el resultado es que cuando se producen envíos frecuentes y pequeños los contenedores no van llenos ni mucho menos, regresan vacíos y se registra una mayor demanda de transporte rápido con gran consumo de energía. Esto afecta a los factores de carga, la utilización del espacio, la organización del calendario de envíos, el embalaje, los sistemas de manejo de la carga, la inversión en capacidad de infraestructura y el aprovechamiento de la tierra, así como al consumo de combustible y las emisiones en el aire, incluidos los contaminantes y los gases de efecto invernadero.**

Un buen ejemplo es la repercusión en el consumo de combustible. Las estrategias de las cadenas de suministro que favorecen los sistemas de entrega “justo a tiempo” requieren utilizar aproximadamente el doble de combustible para el transporte que otro tipo de logística eficiente. De este modo, el sector del transporte mundial de mercaderías no sigue todavía una vía sostenible en varios aspectos. Este sector es uno de los principales consumidores de petróleo y emisores de contaminantes y gases de efecto invernadero, tendencia que, de no corregirse, solo puede ir en aumento (véase Figura 12).

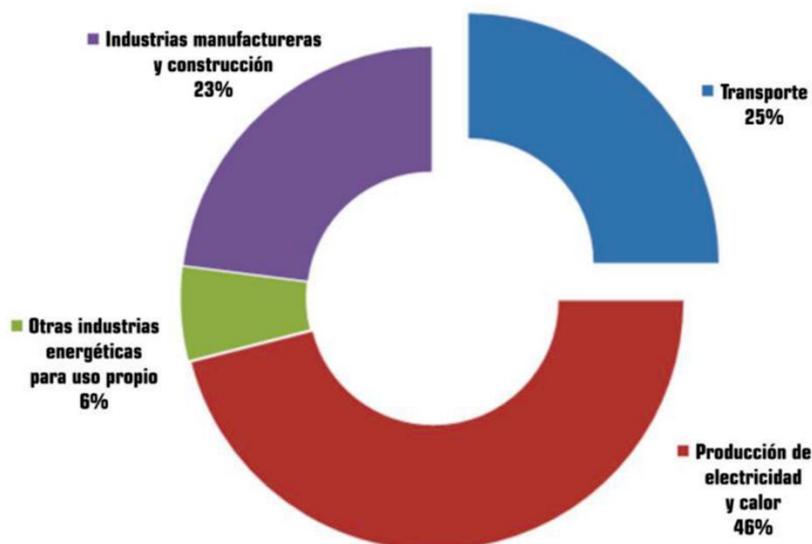


Figura 12: Emisiones mundiales de CO2 procedentes del uso de combustibles, por sector, 2011

12.3 Tendencias actuales y futuras del consumo de energía y las emisiones en el aire

En 2012, el sector del transporte representaba cerca del 64% del consumo mundial final de petróleo y está previsto que durante el período 2008-2035 suponga un 82% del aumento del consumo mundial de combustibles fósiles líquidos.

Probablemente la demanda mundial de energía aumente un 70% de 2010 a 2040, gracias al transporte comercial en todas sus modalidades.

La gran dependencia que el sector tiene del petróleo para la propulsión se traduce en unas considerables emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero en el aire. En 2012, el sector del transporte generó alrededor del 25% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO₂) procedentes del uso de combustibles.

Se prevé que dichas emisiones se incrementen un 1,7% anual hasta 2030, que más del 80% del aumento estimado ocurra en los países en desarrollo y que la mayor parte de las emisiones sean generadas por el transporte terrestre.

Se calcula que las emisiones generales de CO₂ procedentes del transporte internacional relacionado con el comercio se multipliquen por un factor de 3,9 entre 2010 y 2050.

Las proyecciones de las emisiones de CO₂ del transporte por carretera y por ferrocarril indican unos aumentos del 240% y del 600%, respectivamente, para 2050, según cuál sea la composición de la producción, entre otros factores.

Mientras tanto, las emisiones de CO₂ procedentes del transporte marítimo internacional se estimaron en un 2,2% en 2012 y está previsto que aumenten entre un 50% y un 250% para 2050, según cuáles sean el crecimiento económico y la demanda mundial de energía.

En cuanto al transporte aéreo, todo el sector representa un 2% de las emisiones mundiales de carbono y está previsto que la demanda de carburante para motores a reacción aumente alrededor de un 75% para 2050.

12.4 Algunas cuestiones que amenazan la sostenibilidad del transporte de mercancías

Como ya se dijo, aunque los problemas para la sostenibilidad del transporte de mercancías se deben a muy diversas razones, la sección siguiente se centrará en el fuerte vínculo existente entre la energía, las emisiones en el aire y los gases de efecto invernadero, así como en la persistente deficiencia de las infraestructuras del transporte y las necesidades de inversión y otras dificultades para el acceso y la conectividad. Otras cuestiones fundamentales que afectan a la sostenibilidad, como las condiciones laborales, la salud, el ruido, la seguridad y las repercusiones, la adaptación y la resiliencia al clima, siguen siendo también cruciales para el debate sobre la sostenibilidad y la resiliencia del transporte de mercancías.

12.4.1 Costos de la energía y del transporte

El transporte de mercancías depende enormemente del petróleo para la propulsión y no está todavía en condiciones de sustituirlo totalmente por otras fuentes de energía alternativa más limpia. De este modo las tarifas de los fletes y los costos del transporte están muy expuestos a la inestabilidad y las fuertes subidas de los precios del petróleo en particular. Aunque el descenso de los precios del petróleo y de los combustibles del transporte aéreo y marítimo ocurrido a mediados de 2014 puede ser un hecho positivo, sus efectos serán probablemente de corta duración en vista del crecimiento previsto de la demanda mundial de energía y el riesgo de rápidas reducciones de la producción de petróleo a causa de las menores inversiones en las industrias de la extracción y el refinado del petróleo.

Como los países en desarrollo ya deben sufragar unos costos del transporte desproporcionados, la inestabilidad en los costos del petróleo y los combustibles puede tener repercusiones negativas

considerables para su desarrollo sostenible, como también existe la considerable necesidad de hacer frente a las consecuencias a largo plazo de una dependencia excesiva del petróleo.

Los países de la región del Pacífico, por ejemplo, son muy dependientes de los combustibles fósiles importados, y el transporte, sobre todo el transporte marítimo, absorbe alrededor del 70% del combustible total consumido. Por consiguiente, el transporte marítimo resulta comercialmente inviable e insostenible y los gobiernos a menudo se ven obligados a subvencionar o cubrir determinadas rutas marítimas costeras a fin de mantener la conectividad del transporte interno e interinsular.

12.4.2 Energía, medio ambiente y emisiones de carbono

El debate sobre la energía, el transporte y la sostenibilidad está ligado al debate actual sobre cómo afrontar los imperativos del desarrollo sostenible y el cambio climático. Una de las principales preocupaciones es el impacto negativo del consumo de petróleo en el medio ambiente, en particular la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, mantener los combustibles fósiles y las tecnologías conexas en los sistemas de transporte de mercancías perpetuará sistemas de transporte insostenibles y frustrará los esfuerzos por mantener las emisiones de carbono a niveles manejables. Según la IEA (International Energy Agency), para lograr unos niveles de calentamiento del planeta manejables, las emisiones mundiales debidas a la energía no han de superar el nivel máximo que se alcance en 2020. Para alcanzar este objetivo, la IEA propone una estrategia consistente en aumentar la eficiencia energética del sector del transporte.

El transporte de mercancías y las emisiones de gases de efecto invernadero que provoca ocupan un lugar central en el actual debate sobre el cambio climático, en particular en el marco de la OMI (Organización Marítima Internacional) y la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). Concretamente, es cada vez mayor la presión que se ejerce sobre el transporte marítimo internacional para que se someta a la regulación de un instrumento jurídico internacional vinculante. En 2011, la OMI aprobó una serie de medidas técnicas y operacionales basadas en el índice de eficiencia energética y el plan de gestión de la eficiencia energética del buque. La comunidad internacional también está examinando la posibilidad de utilizar instrumentos de mercado para regular más las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte marítimo internacional.

12.4.3 Acceso, conectividad e infraestructura

Al sostener las cadenas de suministro mundiales y al vincular a consumidores y productores, importadores y exportadores, una infraestructura y una logística eficientes del transporte de mercancías promueven también el acceso al comercio y a los mercados a nivel nacional, regional y mundial y tienen repercusiones positivas en el crecimiento económico. Sin embargo, la insuficiencia y las malas condiciones de la infraestructura y los servicios de transporte, en particular el escaso acceso a las zonas rurales, reducen la función del transporte como motor del crecimiento económico, la integración mundial y el desarrollo sostenible en muchos países en desarrollo.

De hecho, los estrangulamientos logísticos de las cadenas de suministro y la falta de inversiones en infraestructura han sido considerados reiteradamente uno de los problemas más importantes, y así lo han declarado diversos expertos en reuniones importantes de la UNCTAD (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo). La falta persistente de infraestructuras del transporte está elevando los costos, reduciendo el acceso y obstaculizando la participación efectiva en las cadenas de suministro y las redes de transporte mundiales y regionales. Hoy en

día se estima que la demanda de infraestructuras mundiales supone aproximadamente un gasto anual de 4 billones de dólares de los Estados Unidos, con un déficit, u oportunidad perdida, de al menos 1 billón de dólares al año.

El sector público ha desempeñado tradicionalmente un papel fundamental en el desarrollo de la infraestructura del transporte. Sin embargo, para muchos países en desarrollo la financiación pública de la infraestructura del transporte representa hacer frente a varios desafíos, como la competencia de otros ámbitos sumamente prioritarios para la asignación de fondos públicos, por ejemplo, la atención médica, la educación y el servicio de la deuda, la insuficiencia de los presupuestos nacionales y la limitada capacidad de los gobiernos de contraer empréstitos a nivel nacional o internacional. En la región de América Latina y el Caribe, por ejemplo, se estima que las inversiones necesarias cada año para satisfacer la demanda de infraestructuras en el período 2012-2020 representan un 6,2% del PIB, o sea unos 320.000 millones de dólares.

En este contexto y teniendo presente la perspectiva de los países en desarrollo, es fundamental adoptar las políticas de transporte y las estrategias de inversiones apropiadas a fin de superar las barreras físicas y de otra índole existentes en cuestiones de infraestructura (por ejemplo, insuficiencia, inadecuación, congestión y necesidades de mantenimiento), falta de vínculos e interoperabilidad de los sistemas (por ejemplo, equipo, vehículos, tecnologías y normas).

12.5 Promover la sostenibilidad del transporte de mercancías

A los países en desarrollo, al promover sistemas sostenibles de transporte de mercancías, se les ofrece una oportunidad para reducir su gran dependencia del petróleo y minimizar las consecuencias de las actividades de transporte negativas para el medio ambiente y al mismo tiempo atender a las necesidades de infraestructura del transporte y crear suficiente capacidad. Si no se aprovecha esta oportunidad es posible que tengan que sufragarse mayores costos en el futuro, por ejemplo, para readaptar las infraestructuras y el equipo existentes, adoptando nuevas tecnologías y prácticas operacionales, dado el largo ciclo vital de las infraestructuras del transporte, que pueden quedar relegadas en modalidades insostenibles. Es preciso pues actuar con rapidez e integrar criterios de sostenibilidad y resiliencia en los planes más generales de desarrollo del transporte a la hora de tomar las primeras decisiones y aprobar las primeras inversiones.

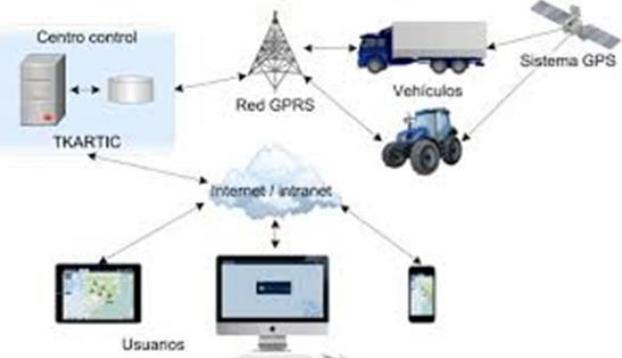
Varios gobiernos e industrias han incorporado criterios de sostenibilidad en sus planes, políticas y estrategias de inversión. Las principales medidas guardan relación con tres enfoques que pueden describirse como **“evitar-cambiar-mejorar”**, lo que comporta:

- a) evitar sistemas y operaciones ineficientes de transporte de mercancías, como por ejemplo buques vacíos;
- b) cambiar adoptando medios de transporte más ecológicos como el transporte por ferrocarril y por vía marítima siempre que sea posible, así como utilizando unas fuentes de combustible y tecnologías más limpias y unos vehículos de tamaño adecuado, y carreteras y rutas apropiadas, y
- c) mejorar la infraestructura, la logística y las operaciones.

Para conseguir una mayor sostenibilidad del transporte de mercancías puede recurrirse a:

- ✓ políticas estratégicas (por ejemplo, políticas de transporte, eficiencia energética y calidad del aire),
- ✓ instrumentos fiscales y económicos (por ejemplo, inversión, tributación, fijación de precios y subvenciones),
- ✓ medidas legislativas y reguladoras, y
- ✓ otros medios como el intercambio de información y de mejores prácticas

Véase la siguiente Figura 13. **Ejemplos de medidas de intervención y actividades en pro de la sostenibilidad**

Tipos de intervenciones	Ejemplos de medidas y actividades
<p>Tecnología e innovación</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de transporte inteligentes; (ITS) • Soluciones logísticas inteligentes (por ejemplo, iniciativas óptimas de transporte electrónico); • Sistemas electrónicos de supervisión de motores; • Computadoras para medir la utilización eficiente del combustible; • Informatización de las rutas y los calendarios; • Programas con GPS; • Software para indicar a los conductores los lugares más ventajosos para abastecerse de combustible; • Mecanismos que desconectan automáticamente los motores parados; • Utilización de equipo más ecológico para el manejo de la carga en tierra (como grúas de puerto dirigidas por TI y grúas de pórtico ecológicas con neumáticos de caucho).
<p>Medidas relacionadas con los combustibles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de combustibles y motores de combustión más ecológicos; • Mejorar los vehículos y la tecnología de propulsión; • Invertir en eficiencia energética, neumáticos anchos para aumentar la resistencia de rodadura, y un diseño más aerodinámico para aumentar la utilización eficiente del combustible; • Adoptar rutas más eficientes, reducir los tiempos muertos y la velocidad
<p>Medidas económicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Crear un mercado mejor para el transporte de mercancías reformando los precios del transporte y los sistemas de inversión, fijación de precios según el costo total, precios de congestión, fijación de precios del

	<p>carbono, tributación, subvenciones y subsidios (por ejemplo, para acelerar la sustitución de motores viejos).</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Cambios de modalidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando sea viable y asequible, mediante una serie de medidas económicas, reguladoras y de mercado, promover la adopción de nuevas modalidades menos intensivas en energía y carbono (por ejemplo, pasar de la carretera al ferrocarril, el transporte marítimo de cabotaje y las vías de navegación interior)
<p>Aprovechamiento de la tierra</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la planificación del aprovechamiento de la tierra, cambiar las pautas de aprovechamiento de la tierra para reducir las distancias de viaje y poder utilizar diversas modalidades, logística portuaria, utilizar puertos centrales comodales e intramodales para liberar recursos de tierras.
<p>Medidas estratégicas y operativas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reestructurar la red de logística física, ubicando centros manufactureros y almacenes cerca de las principales concentraciones de consumidores o bases de suministros; • Planificar y organizar rutas y calendarios para reducir desplazamientos inútiles y optimizar las operaciones; • Promover vínculos entre diferentes modos de transporte para utilizar de manera más eficiente la infraestructura existente
<p>Medidas reguladoras</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Normas sobre emisiones; • Diseño de vehículos e infraestructura; • Límites de velocidad; • Objetivos de uso de fuentes de energía renovables; • Objetivos de eficiencia energética, emisión y normas sobre el ruido de los vehículos; • Exigencia de estrategias integradas de transporte y aprovechamiento de la tierra; • Restricciones del tránsito.
<p>Medidas inmateriales y de otro tipo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Adopción de nuevos métodos de embalaje (por ejemplo, reduciendo los paquetes a un tamaño y peso óptimos

	<p>para el contenido, eliminando capas de embalaje innecesarias);</p> <ul style="list-style-type: none"> • Programas de formación (por ejemplo, técnicas de conducción que permitan el uso más eficiente posible del combustible), actividades de concienciación, facilitar más acceso a la tecnología de la información y la comunicación.
--	--

Figura 13. Medidas de intervención y actividades en pro de la sostenibilidad

13 Ejemplo de medidas de intervención y actividades en pro de la sostenibilidad

Medidas estratégicas y operativas: Puerto de Buenos Aires (Figura 14)



Figura 14. Puerto de Buenos Aires

El resultado final buscado es generar las condiciones ferroviarias óptimas para transportar más de 6.000 contenedores/año y cuando el Belgrano Cargas incorpore nuevos equipos más de 15.000 contenedores/año.

Ventajas de la obra – Puerto de Buenos Aires

- Acceso al puerto de la línea ex San Martín
- Reducción de costos de transporte de cargas.
- Disminución de la cantidad de camiones que ingresan al Puerto.
- Descongestionamiento de tránsito en el área de Retiro próxima a la zona portuaria.
- Reducción potencial del peligro de accidentes entre las formaciones ferroviarias y los vehículos o peatones que transitan por la zona de Puerto y Retiro.
- Menor contaminación ambiental.
- Mayor seguridad respecto de robos a contenedores.
- La reducción de costos en transporte ferroviario es de aproximadamente el 30%

14 EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTE MÓVILES

El proceso de combustión completa no se realiza prácticamente en ninguna de las condiciones de funcionamiento del motor, pues la mezcla comprimida luego de la combustión se transforma básicamente en vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂); pero además por el escape, se emiten otros productos en pequeñas cantidades como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC), entre otros, los cuales son nocivos para la salud y son considerados contaminantes, por lo cual deben ser reducidos o transformados en otros productos no perjudiciales.

Las emisiones totales generadas por el sector transporte, fuentes móviles, pueden determinarse por dos métodos principales:

- a) Conociendo el total del combustible consumido en un lugar específico, por ejemplo, la provincia de Mendoza toda, o el área metropolitana, se estima la energía total consumida, se calculan las emisiones contaminantes y los gases de efecto invernadero. Este enfoque lo sugiere el IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change) - Panel Internacional sobre Cambio Climático. Este método también se conoce como **método top-down** (de arriba hacia abajo), se parte del consumo energético general de las fuentes móviles y se llega a estimar el consumo de cada grupo que conforman las mismas. Este método es generalmente suficiente para estimar las emisiones promedio anuales.
- a) si se requiere información más detallada se necesita realizar aproximaciones siguiendo un enfoque del tipo **método bottom-up** (de abajo hacia arriba), es decir, se parte de conocer la cantidad, frecuencia y tipo de cada vehículo que circula en cada calle de la locación o ciudad en estudio. Se parte del conocimiento cabal de la oferta de modos y medios, sus características y se determinan las emisiones. Es especialmente necesario para estudiar las fuentes vehiculares debido a la alta variabilidad espacio-temporal de sus emisiones.

En el presente trabajo, se presentará sintéticamente la forma de determinación de emisiones totales generadas por el sector transporte por el método "*bottom up*". Los principales datos obtenidos para en la modelación para cada segmento (o arco) de calle son: los flujos de transporte público y privado, la longitud, el tiempo de viaje y el tiempo de viaje a flujo libre. Luego **las emisiones para cada segmento de calle** se calculan como:

$$E = N \times F \times L \quad (1)$$

Donde:

E (g/unidad de tiempo) es la **emisión total para el tiempo considerado**,

N es el **número de vehículos circulantes** en ese periodo,

F es el **factor de emisión promedio** para un contaminante determinado en g/km por vehículo. Debe notarse que F, a su vez es una función del tipo y antigüedad del vehículo, tipo de combustible utilizado, velocidad y régimen de marcha entre otras variables.

L es la **distancia media recorrida en km** por vehículo.

Puede dividirse el estudio de emisiones en:

- Material particulado, variando en tamaño y composición

- Gases: óxidos de nitrógeno (NOx), azufres (SOx), compuestos orgánicos volátiles (VOC), metano (CH₄), metales, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), entre otros.

La reducción de las emisiones totales que genera el sector transporte puede lograrse interviniendo en cada uno de los factores de la expresión de cálculo (1):

- reduciendo el número de vehículos (**M**), ofreciendo un mejor servicio de transporte, eficiente, con unidades de mayor capacidad de carga. Esto no siempre es posible, pensemos en la distribución de la última milla. Es importante la consolidación de cargas y evitar utilizar vehículos que operen por debajo de su capacidad.
- reduciendo las distancias (**L**), por ejemplo, desarrollando áreas de atracción (educativas, comerciales, administrativas, hub and spoke, centro de distribución) más cerca de los usuarios o consumidores; y finalmente
- mejorando tecnológicamente los vehículos disponibles y los combustibles utilizados (**F**). La elección tecnológica abre una amplia de posibilidades al momento de salvar el problema de la última milla, en especial en ciudades congestionadas por el tránsito.

14.1 Opciones tecnológicas para la reducción de emisiones del transporte

Desde el punto de vista ambiental, las **opciones tecnológicas para el sistema de transporte** se pueden abordar desde diversos aspectos, los cuales se pueden asociar por:

14.1.1 Tipo de vehículo e infraestructura

Debemos tener presente que nuestro sistema de transporte debe ser sostenible. Al momento de determinar el modo y medio buscar el equilibrio de la sostenibilidad entre los distintos ámbitos que intervienen en la decisión: económica, social y ambiental. Buscar el modo más sostenible que permita brindar el servicio de transporte requerido.

“La forma más amigable con el medio ambiente es mover carga a través de los ferrocarriles. Los trenes pueden mover una tonelada de carga casi 500 millas usando un solo galón de combustible. El uso eficiente de combustible significa menos gases de efecto invernadero o emisiones de carbón para nuestro planeta.”

¿Es siempre válida esta afirmación?



Figura 15. Formación tren de carga

Evidentemente el modo y medio van a estar condicionados por la demanda y las posibilidades existentes al momento de tomar la decisión (oferta disponible).

14.1.2 Tamaño del vehículo: partiendo de la base de aumentar la capacidad de carga por unidad de potencia de la unidad motriz.

Veremos detalladamente al estudiar transporte público de pasajeros que esta aseveración se ve condicionada por otros requerimientos. Hay que cumplir la premisa de sostenibilidad, y al evaluar el ámbito social, es imprescindible cumplir con condiciones que le son propias a este servicio público. Se requiere una calidad de prestación en la cual la premisa de aumento de capacidad esta acotada por la frecuencia con que debe prestarse el servicio. Puedo llevar 180 pasajeros con una sola unidad biarticulada que tenga una frecuencia por hora (intervalos de tiempo de espera entre unidades de 60 minutos); o bien utilizar unidades con capacidad para 60 pasajeros y frecuencias de buses cada 20 minutos (tres frecuencias por hora). La calidad del servicio para el usuario es totalmente distinta.



Figura 16. Bus biarticulado



Figura 17. Bus biarticulado



Figura 18. Camión tren de carretera-Australia



Figura 19. Trenes de carretera-Australia



Figura 20. Camión tren en explotación minera

14.1.3 Tipo de combustible

¿Qué es el combustible? Partamos de la idea de que un combustible no es únicamente utilizado para vehículos ni viene solo en el formato líquido. El punto de partida es entender que se trata de cualquier materia que cuando se mezcla con oxígeno puede generar calor y esta liberación de energía se puede aprovechar para distintas cosas. Por ejemplo, energía mecánica. Movimiento.

Estado de los combustibles:

- Sólidos: se encuentran en ese estado en la naturaleza o luego de ser transformados. Deja cenizas mientras se quema. Algunos combustibles de este tipo son: plásticos, materiales celulósicos como el carbón, madera; metales.
- Líquidos: algunos de estos son el diesel, la gasolina o nafta y el kerosene, derivados del petróleo.
- Gaseosos: gas natural, propano, butano.

¿Cuáles son los tipos de combustibles para vehículos?

Los tipos de combustibles más conocidos por todos son la nafta, el diesel y el gas natural. Sin embargo, desde hace un tiempo se han incorporado varios combustibles alternativos, que no son fósiles y que generan menor contaminación en el medio ambiente.

Nafta: está hecha con una mezcla de hidrocarburos y se obtiene del petróleo; se usa como combustible en los motores de combustión interna y como disolvente.

Diésel: Es un líquido de origen gasóleo. Es un combustible no renovable que se utiliza para la generación de electricidad, transporte y calefacción.

Etanol: es un compuesto químico obtenido por la fermentación de los azúcares y que puede utilizarse como combustible, solo mezclado con gasolina. Su uso principal es para reemplazar el consumo de derivados del petróleo.

Biodiésel: Es un biocombustible sintético líquido generado a través de grasas de animales y aceites vegetales. Se usa en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo.

Metanol: Se usa para desnaturalizar el alcohol etílico y como aditivo en combustibles líquidos mezclado con nafta.

Gas Natural: es una mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso (metano), que se encuentra al igual que el petróleo en yacimientos en el subsuelo. GNC (gas natural comprimido).

GLP: gas licuado del petróleo es una mezcla de propano y butano comprimido hasta tal punto que se vuelve líquido, se obtienen como subproducto en el proceso de destilación del petróleo. Tiene diversos usos, sirve como combustible para nuestros vehículos.

Debemos incluir como energía utilizada por los vehículos:

Electricidad: Es muy importante conocer cómo se genera la misma a efectos de evaluar su incidencia en emisiones de GEI

Hidrógeno: puede utilizarse como combustible de automoción con la tecnología de motor de combustión, o a través de una pila de combustible. En el primer caso, la tracción del vehículo es mecánica, y en el segundo, eléctrica. La mayoría de los fabricantes se ha decantado por esta segunda opción: vehículos movidos por motores eléctricos alimentados por pila de combustible. Los mayores inconvenientes para el despliegue de vehículos de hidrógeno son, su alto coste y la ausencia de una red de infraestructuras de abastecimiento. La tecnología de las pilas de combustible ha avanzado de forma notable en los últimos tiempos, lo que se ha traducido en una reducción de precios y la industria automovilística anuncia ya la venta de sus primeros modelos de pila de hidrógeno.

El transporte de cargas y pasajeros utiliza como combustible, en su gran mayoría, el gas oil.

14.2 ¿Qué son las normas Euro?

Es un conjunto de estatutos creado en Europa, a partir de 1988, que trató desde ese entonces regular los límites en la cantidad de emisión de gases, al menos en el Viejo Continente, en los motores a combustión. Para eso, a medida que fueron pasando los años se sumaron nuevas reglas con mayor exigencia para reducir aún más los contaminantes. Si bien, los primeros requisitos tuvieron su visto bueno para fines de la década del 80', la norma Euro 1 entro en vigencia a fines de 1992, casi en conjunto con la creación de la Unión Europea.

La normativa **Euro 6**, referente a las emisiones de los vehículos a motor entró en vigor en Europa el 1 de septiembre de 2014 para nuevas homologaciones de motores. El 1 de septiembre de 2015 todas las nuevas matriculaciones (ventas) tendrán que cumplir la normativa Euro 6. La normativa Euro 6 marca una reducción drástica de los gases contaminantes, especialmente los óxidos nitrosos o NOx. El uso de vehículo adaptados a la normativa Euro 6, requiere de combustibles y aditivos aptos para dicha tecnología que hoy no están disponibles en nuestro país.

En nuestro país, si bien las reglas no están completamente precisas como en el Viejo Continente, existe una normativa adecuada a las indicadas de la categoría Euro 5, aunque el cumplimiento absoluto de las normas no posee un estricto control, a diferencia de otros países. A su vez, si se tiene en cuenta la modalidad Euro 6, al menos en Argentina, todavía no se encuentra definitivamente instaurada, con excepción de algunos vehículos, especialmente de carga, que adoptaron este estatuto por motus proprio.

La norma Euro 5 rige desde el 1 de enero de 2016 en la República Argentina. La Resolución N° 1464/2014 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable determina que la fecha de entrada en vigencia para la certificación de los límites de emisiones contaminantes gaseosas de nuevos modelos de todas las categorías (M y N, livianos y pesados) será el 1 de enero de 2016. <http://www.elremolque.org.ar/la-norma-euro-5-regir%C3%A1-desde-el-1-de-enero-de-2016.html>

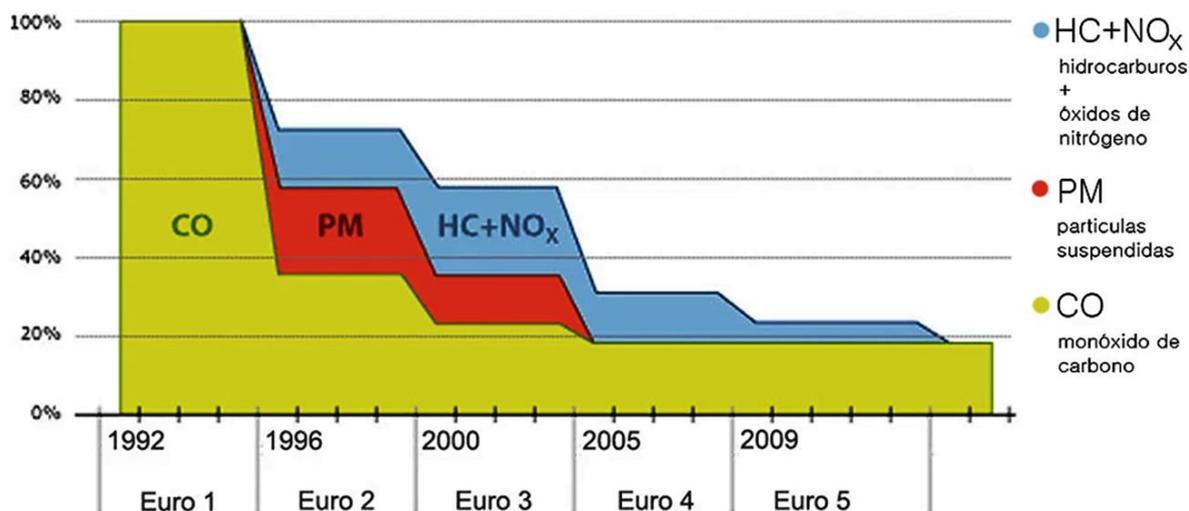


Figura 21. Normas Euro 1 a 5 de reducción de emisiones. Variación histórica

A continuación, la Tabla 1, presenta el **factor de emisión F** para determinar NOx, CO, CO₂, PM₁₀, HCT, en función de distintos tipos de combustibles. Fuente: Embarq (2012), Nylund et al, 2004, Nylund y Erkkilä (2005), Posadas (2000). Debe notarse que los valores aquí mostrados corresponden a promedios de mediciones realizados en diversas ciudades sobre ómnibus con diversas tecnologías y combustibles. (Ver informes citados para más detalles). PIM 2030. Dr. Enrique Puliafito

F = FACTOR DE EMISIÓN (g/km)					
COMBUSTIBLES DIESEL	Nox	CO	CO ₂	PM ₁₀	HCT
D150	16,3	5,8	1.221	0,34	0,51
D50	11,3	2,8	1.176	0,36	0,07
D15	12,2	2,3	1.538	0,31	0,17

Tabla 1. Factores de Emisión F en función del combustible

- D150: combustible diesel con 150 ppm de azufre
- D50: combustible diesel con 50 ppm de azufre
- D15: combustible diesel con 15 ppm de azufre
- PM₁₀: material particulado de diámetro 10 micrones o mayor (recordar que 1 micrón es una milésima de milímetro)
- HCT: hidrocarburos totales

14.3 Tipos de filtro o post-procesamiento de gases de emisión

El filtro de post tratamiento de gases de emisión es un dispositivo que busca eliminar, modificar o mitigar el efecto nocivo de uno o más gases que resultan de la combustión, o bien, retener material particulado en suspensión. Hay una cantidad importante de filtros veremos, a título informativo, los siguientes:

14.3.1 Filtros de partículas para diesel (DPF)

Los filtros de captura de las emisiones de partículas diesel funcionan mediante una combinación de mecanismos de filtración como: la deposición de difusión, el depósito de inercia, o la intercepción del flujo de línea. Figura 22 y 23. Tabla 2

Las partículas capturadas se eliminan del filtro, de forma continua o periódica, a través de la regeneración térmica.



Figura 22. Filtro DPF



Figura 23. Filtro DPF

Contaminante	MP	CO	HC	Aldehídos	NOx
Reducción	50-60%	80%	60%	60%	No reduce

Tabla 2: FILTRO DPF. Reducción de emisiones.

- MP: material particulado
- CO: monóxido de carbono
- HC: hidrocarburos
- NOx: óxidos de nitrógeno

14.3.2 Filtro de Oxidación Catalítica (OC)

La Oxidación Catalítica se basa en la utilización de catalizadores (comúnmente son utilizados como agente catalizador el platino, el vanadio, manganeso, cobre o níquel), que provocan o aceleran las reacciones químicas que transforman el monóxido de carbono en dióxido de carbono y agua, y permiten que las reacciones ocurran a temperaturas mucho más bajas que en otros sistemas, no requieren el consumo de energía y permiten un tiempo de residencia más corto dentro del reactor. Figura 24 y 25. Tabla 3.

Contaminante	Catalizador nuevo	Catalizador a 16.000 horas
CO	91%	82%
NMHC	47%	39%

Tabla 3: FILTRO OC. Reducción de emisiones

- NMHC: hidrocarburos no metánicos

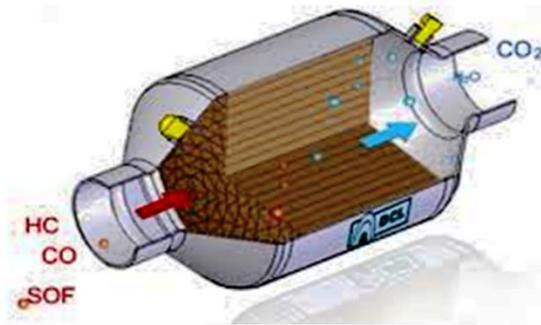


Figura 24. Filtro OC



Figura 25. Filtro OC

14.3.3 Recirculación de gases de escape (EGR)

La EGR se utiliza principalmente para reducir las emisiones de NOx. Debido a que la formación de NOx depende mucho de la temperatura, la EGR funciona recirculando entre un 5% y un 10% de los gases de escape que vuelven a la entrada de aire del motor a fin de bajar la temperatura de combustión (varios cientos de grados) y reducir de tal forma esas emisiones. Figura 26.

Los sistemas de EGR pueden ser ya sea de alta presión o de baja presión. Los sistemas de baja presión pueden retroadaptarse dado que no requieren modificaciones del motor.

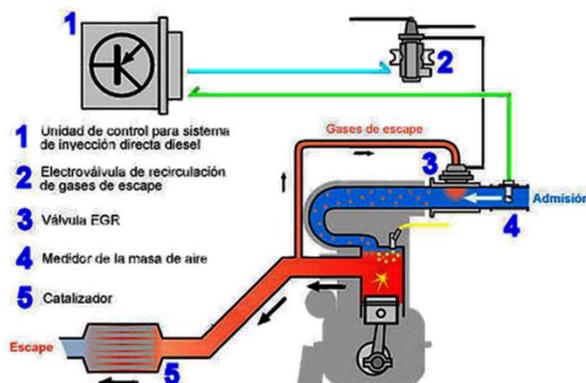


Figura 26. Recirculación de gases de escape

14.3.4 Reducción Catalítica Selectiva (SCR)

El proceso de SCR se basa en la reducción química de la molécula de NOx, empleando un catalizador a base de platino con sitios activados para incrementar la velocidad de la reacción de reducción. Un agente reductor (reactivo) basado en el nitrógeno tal como el amoníaco o la urea, es inyectado en forma controlada dentro del gas de post-combustión. Figura 27. Tabla 4.

El reactivo reacciona selectivamente con el gas de combustión NOx (óxidos de nitrógeno) dentro de un rango específico de temperatura y en la presencia del catalizador y oxígeno para reducir al NOx en nitrógeno molecular (N2) y vapor de agua (H2O).

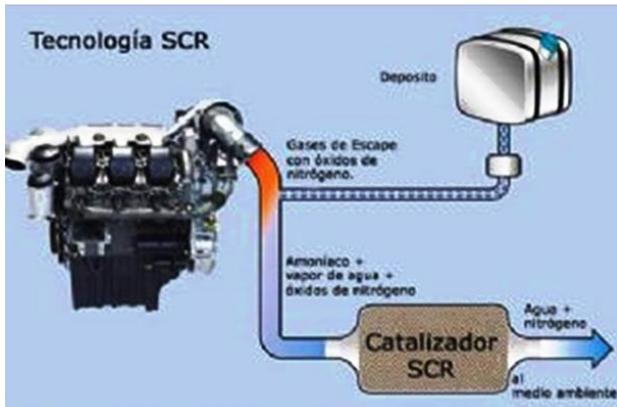


Figura 27. Catalizador con uso de urea (SCR)

Contaminante	Reducción
NOx	90-95%

Tabla 4: CATALIZADOR SCR. Reducción de emisiones

Es uno de los dispositivos utilizados en los motores que certifican normas Euro 5 y 6. El agente reductor es una solución de urea líquida, grado automotriz. YPF designa comercialmente a la úrea como Azul 32.

Esta solución conformada por agua desmineralizada y un 32,5% de urea de alta pureza se diferencia de urea comunes al requerir controles exhaustivos en los 18 parámetros especificados por la Norma ISO 22241 que garantizan el correcto funcionamiento del catalizador.

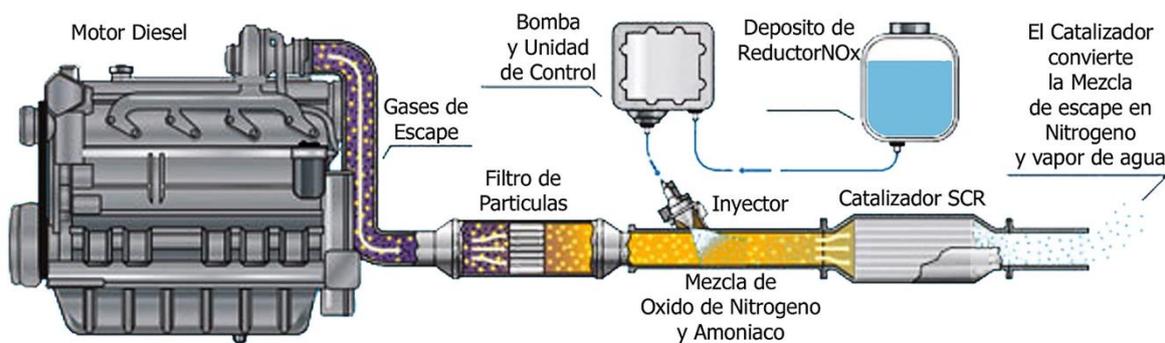


Figura 28: Esquema de un motor con Reducción Catalítica Selectiva (SCR)

La úrea es indispensable para un funcionamiento óptimo de los motores equipados con sistemas SCR, es obligatorio a partir de año 2016 según resolución 1464/2014 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación de la República Argentina para vehículos pesados y poco a poco se estará extendiendo al resto de vehículos diesel.

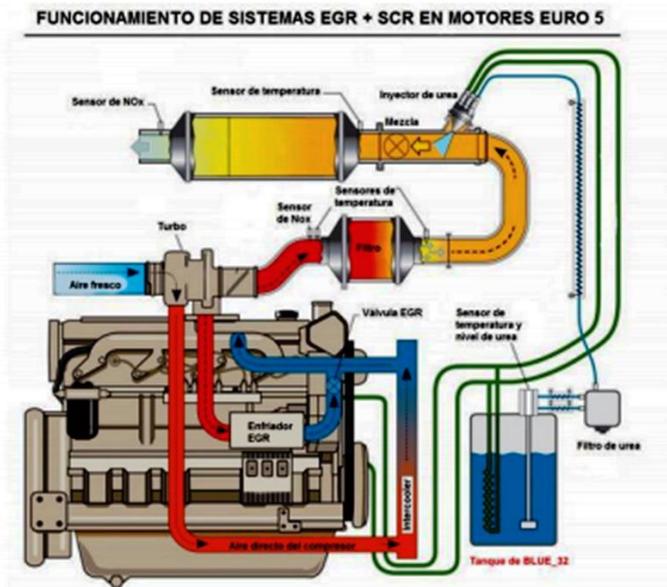


Figura 29. Catalizador con uso de urea (EGR+SCR)

14.3.5 Three-way catalytic converter (TWC) – Convertidor catalítico de tres vías

El convertidor catalítico o catalizador es un componente del motor de combustión interna que sirve para el control y reducción de los gases nocivos expulsados por el motor. Se emplea tanto en los motores de gasolina (nafteros) o de ciclo Otto como más recientemente en los motores diésel. Figura 30. Tabla 5.

En general, los motores equipados con convertidores catalíticos TWC tienen un sistema de circuito cerrado de inyección de combustible realimentados utilizando uno o más sensores de oxígeno.

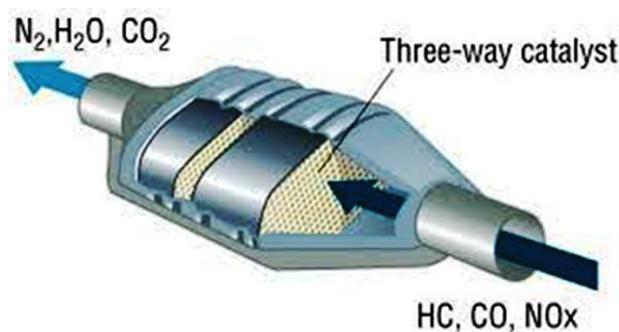


Figura 30. Catalizador de tres vías (TWC)

Contaminante	NOx	CO	HC	CH2O
Reducción	90-99%	90-99%	50-90%	80-95%

Tabla 5: CATALIZADOR TWC. Reducción de emisiones

- (CH2O)_n: monosacárido no modificado

14.4 EMISIONES. DETERMINACIÓN. RESUMEN

Emisiones totales: método bottom-up

$$E = N \times F \times L$$

Donde:

E (g/unidad de tiempo) es la **emisión total para el tiempo considerado**,

N es el **número de vehículos circulantes** en ese periodo,

F es el **factor de emisión promedio** para un contaminante determinado en g/km por vehículo. Debe notarse que F, a su vez es una función del tipo y antigüedad del vehículo, tipo de combustible utilizado, velocidad y régimen de marcha entre otras variables.

L es la **distancia media recorrida en km** por vehículo.

Principales contaminantes considerados	
Contaminante	Descripción
NOX	Óxidos de nitrógenos: NOX= NO + NO3
CO	Monóxido de carbono
CO2	Dióxido de carbono
HCT	Hidrocarburos totales, incluye metano
PM	Material particulado
NMHC	Hidrocarburos libres de metano

Tabla 6: contaminantes de procesos de combustión

Tecnologías y combustibles considerados	
Tecnologías	Abrev.
Oxidación catalítica	OC
Catalizador de tres vías	TWC
Filtros de particulado para diesel	DPF
Recirculación de gases de escapes	EGR
Reducción catalítica selectiva	SCR
Combustibles	Abrev.
Gas natural licuado	GNL
Gas natural comprimido	GNC
Diesel > 150 ppm azufre	D150
Diesel < 50 ppm azufre	D50
Diesel < 15 ppm azufre	D15
100% biodiesel	B100
20% biodiesel	B20

Adaptado de Embarq (2012)

Tabla 7: tecnologías y combustibles. Abreviaturas

“Arrancó 2019 con cambios en los combustibles. Desde el 1° de enero, el Gobierno modificó las especificaciones que deben cumplir las naftas y el gasoil que se comercializan en la Argentina. La Resolución N° 5/2016 – que es la que establece las nuevas reglas – hace foco en la reducción del contenido de azufre en los combustibles en función de la evolución tecnológica de los motores

a nivel mundial, las reglamentaciones de calidad del aire y en especial de las normas europeas de combustibles.”

<https://www.iprofesional.com/negocios/284146-combustible-ypf-otros-otros-Naftas-y-el-gasoil-tendran-menos-contenido-azufre-en-2019>

En Argentina debemos utilizar, a efectos de los cálculos, el Diesel > 150 ppm o D150.

Factores de emisión (g/km)					
Tecnología y combustible	NOX	CO	CO2	PM10	HCT
D50 + DPF	10,9	1,4	1.275	0,14	0,02
D50	11,3	2,8	1.176	0,36	0,07
D15 + SCR	6,9	3,9	1.096	0,06	0,01
D15 + OC	8,5	0,4	1.179	0,09	0,07
D15 + EGR	8,3	0,4	1.421	0,07	0,04
D15 + DPF	13,1	0,5	1.445	0,03	0,03
D15	12,2	2,3	1.538	0,31	0,17
D150 + OC	10,1	2,5	1.134	0,28	0,22
D150	16,3	5,8	1.221	0,34	0,51
GNC + OC	9,9	0,6	1.181	0,01	7,25
GNC + TWC	2,3	1,5	1.159	0,02	0,4
GNC	15,1	8,5	1.315	0,03	13,95

Fuente Embarq (2012), Nylund et al, 2004, Nylund y Erkkilä (2005), Posadas (2000). Debe notarse que los valores aquí mostrados corresponden a promedios de mediciones realizados en diversas ciudades sobre ómnibus con diversas tecnologías y combustibles.

Tabla 8: Factores de emisión. Tecnología de post-tratamiento y combustible

Factores de emisión (g/km)					
Vehículos livianos	NOx	PM10	CO2	CO	HC
NAFTA	0,7	0,18	300.000	16..550	3,5
DIESEL	0,5	0,28	260.000	5.352	0,4
GNC	0,25	0,012	200.000	5.035	0,8

Elaboración Dr. Enrique Puliafito, Fuente CORINAIR

Tabla 9: Factores de emisión. Tipo de combustión. Vehículos livianos

Factores de emisión modelo bottom-up (g/km)					
FACTORES DE EMISIÓN	NOx	PM10	CO2	CO	HC
GASOLINA AUTOS LIVIANOS	0,7	0,18	300	16,55	3,5
DIESEL AUTOS LIVIANOS	0,5	0,28	260	5,35	0,4
GNC AUTOS LIVIANOS	0,25	0,01	200	5,04	0,8
DIESEL CARGA PESADA	6,3	1,1	1.100	5,8	0,4
DIESEL CARGA PESADA SEMI REMOLQUE	6,3	1,1	1.100	5,8	0,4
MOTOCICLETAS	0,8	0,1	280	19	0,93
BUS DIESEL	14,3	1,1	1.100	5,8	0,4

Tabla 10: Factores de emisión. Tipo de combustión por tipo de vehículos y combustible

14.4.1.1 Consumo de energía del transporte eléctrico. Determinación. Emisiones

La Argentina posee abundantes y diversos recursos energéticos que van desde los hidrocarburos convencionales y no convencionales (que protagonizan su matriz energética), y se encuentran en el subsuelo de las “cuencas sedimentarias”, hasta zonas con inmejorables vientos (eólico) y niveles de radiación solar (fotovoltaico). El recurso hidroeléctrico, que ha sido aprovechado históricamente, también es importante, así como el desarrollo nuclear.

El 86% de la matriz energética es dependiente de los hidrocarburos con predominio del gas natural. Figura 31. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caligari_-_energia.pdf

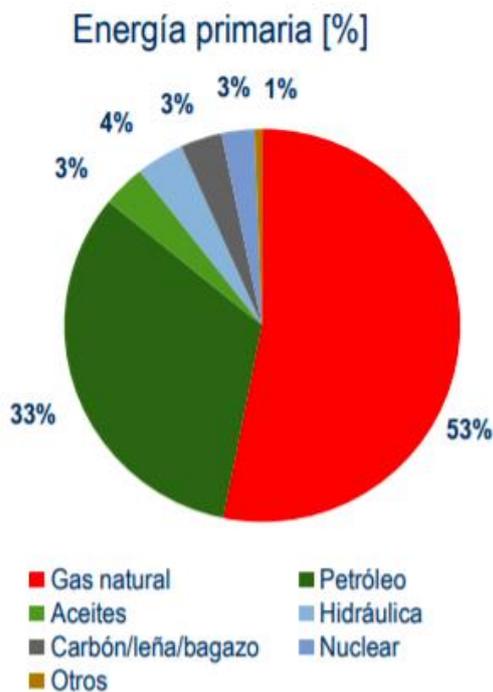


Figura 31. Matriz energética Rep. Argentina 2019

“De acuerdo al informe especial sobre el comportamiento del sector de energías renovables del país titulado “Desarrollo de Energías Renovables en Argentina”, factores externos y la crisis económica y financiera ocurrida en 2018 impactaron en las iniciativas destinadas a la expansión del sistema de transmisión o de transporte eléctrico que es fundamental para alcanzar un despacho eficiente de la energía eléctrica generada.”

“A pesar de estos obstáculos, destacan como positivo que el programa RenovAr ha permitido que las energías renovables contribuyan con un 4% de la potencia total instalada en 2018 (~1460 MW) con un importante incremento de la participación en el sistema de las energías solar y eólica.”

“La cifra del 4% a pesar de ubicarse por debajo de la meta estipulada por la Ley N° 27.191 para el año pasado (la norma estipula alcanzar el 8% de participación para fines del 2018, el 12% en 2019 y el 20% en 2025), conforma un resultado alentador y un cambio de tendencia que debería poder sostenerse a futuro.”

“Los beneficios que aportan las EE.RR. en términos sociales y de bienestar, se destaca la posibilidad de ofrecer energía a zonas no conectadas al sistema de distribución eléctrica o en donde la red no es confiable y requiere de sistemas de respaldo.”

“Las EE.RR son determinantes como medio para alcanzar una significativa reducción de las emisiones de carbono ligadas al crecimiento económico. Asimismo, la variedad de fuentes a partir de las cuales puede generarse energía limpia, permite una mayor descentralización del sistema habilitando la competencia entre las fuentes de generación y el alcance de precios más competitivos. En efecto, este objetivo ha quedado plasmado de manera explícita en la reciente Ley N° 27.424 de Generación Distribuida (GD), norma que ya cuenta con la aprobación del CNA y a la cual solo resta su reglamentación. Como se comentó previamente, la GD, además de propiciar las condiciones necesarias para la descentralización de la generación de energía, habilitará a productores de pequeña (usuarios particulares) y gran escala (actores industriales) a consumir energía autogenerada y distribuir el excedente a la red, fomentando de esta manera un cambio de paradigma que beneficiará económica y socialmente al sistema, con precios más competitivos y menores emisiones de carbono, por ejemplo”. Fuente: <https://megavatios.com.ar/matriz-energetica-argentina-presente-y-proyeccion/>

Esta situación de generación de energía eléctrica basada en el consumo de hidrocarburos es muy importante de tener en cuenta al momento de generalizar y decir que “*el uso de energía eléctrica en el transporte logra movilizar personas y carga sin generar contaminación por emisiones*”. La realidad es que las emisiones no las genera la fuente móvil en el lugar donde opera (ciudad, ruta, FFCC), sino que éstas se concentran en las centrales termoeléctricas ubicadas en distintos puntos de nuestra provincia y país.

Por lo que es importante evaluar que parte del consumo de energía eléctrica corresponde a generación por hidrocarburo y cual no (energías renovables).

Para ello vamos a utilizar un trabajo de investigación del Dr. Enrique Puliafito, que es parte del Plan Integral de Movilidad para el Área Metropolitana Mendoza 2030.

El factor de emisión de contaminantes por generación eléctrica (F) utilizado es:

Factores de emisión usados (kg/GJ) para generación eléctrica					
	NOx	CO	CO2	PM10	HCT
FE kg/GJ	1,8	0,61	77,926	0,018	0,128

Fuente: Argentina (2007) e IPCC(2006)

Tabla 11. Factor de emisión para energía eléctrica.

- GJ: unidad de energía Gigajulio. Equivalencia: 1 KW/h = 0,0036GJ

Los motores eléctricos de medios de transporte consumen energía y ésta se relacionada con la potencia mecánica, es el caso de los trenes, metro, tranvías, trolebuses, buses. Por ejemplo, para los vehículos de transporte público eléctrico que hay en la provincia de Mendoza, bus, trolebús y tranvía, sus consumos en energía eléctrica son:

- 1,26 KWh/km, **bus eléctrico**,
- 3 KWh/km para los **trolebuses**, y
- 5,2 KWh/km para los **tranvías**

Ahora bien, esta energía eléctrica es provista por el sistema interconectado nacional, y éste tiene una matriz de generación que, en nuestro caso corresponde a 86% de energía proveniente de hidrocarburos (gas natural 53% + petróleo 33%), un 10% a energía renovables, 2% carbón y 2% energía nuclear.

Es decir, que la energía eléctrica tiene un fuerte componente de quema de combustibles fósiles lo que genera contaminación ambiental a través de los distintos gases y partículas sólidas que se liberan al ambiente.

15 EJERCICIO DE APLICACIÓN:

15.1 Datos

En el Área Metropolitana Mendoza se estiman los siguientes valores de movilidad particular y pública

Vehículos Particulares (VP). Incluyen vehículos de carga

Los valores de KM y pasajeros estimados en VP para todo el año son los siguientes.

KM Y PASAJEROS ESTIMADOS EN VP		
Vehículos particulares (todos)	KM anual	Pasajeros estimados
VP	4.440.000.000	220.000.000

Tabla 1. Ej. 1

La composición del parque móvil particular (VP) es la siguiente:

COMPOSICIÓN PARQUE MÓVIL AMM (sin buses)	Prop. %
GASOLINA AUTOS LIVIANOS	44,40%
DIESEL AUTOS LIVIANOS	23,30%
GNC AUTOS LIVIANOS	21,80%
DIESEL CARGA PESADA	5,40%
DIESEL CARGA PESADA SEMI REMOLQUE	3,60%
MOTOCICLETAS	1,50%

Tabla 2. Ej. 1

Vehículos Transporte Público de Pasajeros (TPP). Incluye: bus diesel + bus eléctrico + trole + tranvía

Los valores de KM y pasajeros estimados para todo el año son los siguientes.

TOTAL KM Y PASAJEROS PROYECTADOS AÑO 2020			
GRUPOS	Tipo unidad	KM anual	Pasajeros estimados
100	Bus Diesel	1.700.999	7.654.493
	Bus Eléctrico	1.171.976	5.273.894
	Trole	305.703	1.222.813
	Tranvía	852.325	5.966.273
200	Bus Diesel	10.652.564	23.435.640
300	Bus Diesel	10.547.832	25.314.797
400	Bus Diesel	10.263.579	24.632.589
500	Bus Diesel	10.933.475	26.240.340
600	Bus Diesel	12.721.956	30.532.694
700	Bus Diesel	19.830.771	35.695.388
800	Bus Diesel	14.049.738	25.289.528
900	Bus Diesel	13.637.555	27.275.109
TOTAL ANUAL		106.668.472	238.533.559

Tabla 3. Ej. 1

15.2 Determinar

- 1- Emisión Total Anual en toneladas/año (Tn/año) = Emisión Total del Parque Móvil Particular (VP) (incluye vehículos de carga) + Emisión Total del Transporte Públicos de Pasajeros (TPP). Diesel D150 para los Buses Diesel.
- 2- ¿Qué sucedería si se mejora la calidad del combustible Diesel, D15, y se incorpora un dispositivo de Reducción Catalítica Selectiva (**SCR**) a las unidades del TPP (EURO 5)? Calcular Emisión Total del Transporte Públicos de Pasajeros (TPP) en estas condiciones
- 3- Comparar resultados.
- 4- Determinar emisiones en función de los pasajeros transportados anualmente.

15.3 RESOLUCIÓN

15.3.1 Vehículos particulares

Se determina la cantidad de kilómetros anuales que estimativamente recorrerá cada tipo de unidad que compone el parque móvil vehicular en base a los datos de Tabla 1 y Tabla 2. Ej. 1.

Composición VP	Prop. %	KM anual VP
GASOLINA AUTOS LIVIANOS	44,40%	1.971.360.000
DIESEL AUTOS LIVIANOS	23,30%	1.034.520.000
GNC AUTOS LIVIANOS	21,80%	967.920.000
DIESEL CARGA PESADA	5,40%	239.760.000
DIESEL CARGA PESADA SEMI REMOLQUE	3,60%	159.840.000
MOTOCICLETAS	1,50%	66.600.000
TOTAL		4.440.000.000

Tabla 4. Ej. 1

Haciendo uso de Tabla 11: Factores de emisión. Tipo de combustión por tipo de vehículos y combustible. Determinamos las emisiones que al año van a generar cada tipo de vehículos de los cuales se conoce los kilómetros anuales (tabla anterior).

Es importante notar las unidades. Hay que cambiar de gramos a tonelada. 1 tonelada = 1.000.000 gramos

Composición VP	KM anual VP	Factores de emisión modelo bottom-up (g/km)					Emisión modelo bottom-up (tn/año) - VEHÍCULO PARTICULAR				
		NOx	PM10	CO2	CO	HC	NOx	PM10	CO2	CO	HC
GASOLINA AUTOS LIVIANOS	1.971.360.000	0,7	0,18	300	16,55	3,5	1380	355	591408	32626	6900
DIESEL AUTOS LIVIANOS	1.034.520.000	0,5	0,28	260	5,35	0,4	517	290	268975	5535	414
GNC AUTOS LIVIANOS	967.920.000	0,25	0,01	200	5,04	0,8	242	10	193584	4878	774
DIESEL CARGA PESADA	239.760.000	6,3	1,1	1.100	5,8	0,4	1510	264	263736	1391	96
DIESEL CARGA PESADA SEMI REMOLQUE	159.840.000	6,3	1,1	1.100	5,8	0,4	1007	176	175824	927	64
MOTOCICLETAS	66.600.000	0,8	0,1	280	19	0,93	53	7	18648	1265	62
	4.440.000.000						4.710	1.100	1.512.175	46.622	8.310

Tabla 5. Ej. 1

15.3.2 Transporte público de pasajeros

Se determina la cantidad de kilómetros anuales que recorrerá cada tipo de unidad dividida en buses diésel, buses eléctricos, trole y tranvía; que conforman la flota del sistema de transporte público de pasajeros (TPP). Uso de Tabla 3. Ej. 1.

TOTAL KM Y PASAJEROS TPP - POR TIPO DE UNIDAD		
Tipo unidad	KM anual	Pasajeros estimados
Bus Diesel	104.338.467	226.070.579
Bus Eléctrico	1.171.976	5.273.894
Trole	305.703	1.222.813
Tranvía	852.325	5.966.273
TOTAL	106.668.472	238.533.559

Tabla 6. Ej. 1

15.3.2.1 Unidades eléctricas

Partimos de los datos de consumo de los distintos tipos de unidades que conforman la flota alimentada con energía eléctrica:

- 1,26 KWh/km, bus eléctrico,
- 3 KWh/km para los trolebuses, y
- 5,2 KWh/km para los tranvías

Calculamos el total anual de energía eléctrica para cada tipo de unidad. Luego, este valor debe ser corregido recordando que, del total de la energía eléctrica producida en el país, el 86% es dependiente de los hidrocarburos con predominio del gas natural.

GJ: unidad de energía Gigajulio. Equivalencia: 1 KW/h = 0,0036GJ

Tipo unidad - TPP	KM anual	Consumo de °E (KWh/KM)	Consumo de °E ANUAL (KWh/año)	Consumo de °E ANUAL (GJ/año)	Consumo de °E ANUAL (GJ/año) (86% generada x hidrocarburos)
Bus Eléctrico	1.171.976	1,26	1.476.690	5.316	4.572
Trole	305.703	3,00	917.110	3.302	2.839
Tranvía	852.325	5,20	4.432.089	15.956	13.722
TOTAL	2.330.004				21.133

Tabla 7. Ej. 1

Ahora se aplica el factor de emisión de contaminantes por generación eléctrica visto en Tabla 12 al consumo anual de energía generada por hidrocarburos, y obtenemos las emisiones que al año van a generar las distintas unidades eléctricas del sistema TPP.

Es importante notar las unidades. Hay que cambiar de kilogramos a tonelada. 1 tonelada = 1.000 kilogramos

Tipo unidad	Consumo de °E ANUAL	Factores de emisión modelo bottom-up (Kg/GJ). Generación ELÉCTRICA					Emisión modelo bottom-up (tn/año) - TPP ELÉCTRICO				
		NOx	PM10	CO2	CO	HC	NOx	PM10	CO2	CO	HC
Bus Eléctrico	4.572	1,8	0,018	77,93	0,61	0,128	8,2	0,1	356,3	2,8	0,6
Trole	2.839	1,8	0,018	77,93	0,61	1,128	5,1	0,1	221,3	1,7	3,2
Tranvía	13.722	1,8	0,018	77,93	0,61	2,128	24,7	0,2	1.069,3	8,4	29,2
TOTAL	21.133						38,0	0,4	1.646,8	12,9	33,0

Tabla 8. Ej. 1

15.3.2.2 Unidades diesel D150:

Se determina la cantidad de kilómetros anuales que estimativamente recorrerán los buses diesel a partir de los datos de Tabla 3. Ej. 1. Se calculan las emisiones para un combustible D150 con el factor de emisión de Tabla 9.

Es importante notar las unidades. Hay que cambiar de gramos a tonelada. 1 tonelada = 1.000.000 gramos

Tipo unidad	KM anual TPP	Factores de emisión modelo bottom-up (g/km). D150					Emisión modelo bottom-up (tn/año) - TPP - BUSES DIESEL (D150)				
		NOx	PM10	CO2	CO	HC	NOx	PM10	CO2	CO	HC
Bus Diesel	104.338.467	16,3	0,34	1221	5,8	0,51	1700,7	35,5	127397,3	605,2	53,2

Tabla 9. Ej. 1

15.3.2.3 Unidades diesel D15 + SCR:

Se calculan las emisiones para un combustible D15 y un dispositivo de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) con el factor de emisión de Tabla 9

Tipo unidad	KM anual TPP	Factores de emisión modelo bottom-up (g/km). D15 + SCR					Emisión modelo bottom-up (tn/año) - TPP - BUSES DIESEL (D150+SCR)				
		NOx	PM10	CO2	CO	HC	NOx	PM10	CO2	CO	HC
Bus Diesel	104.338.467	6,9	0,06	1096	3,9	0,01	719,9	6,3	114355,0	406,9	1,0

Tabla 10. Ej. 1

15.4 Respuestas

15.4.1 Emisión Total Anual en toneladas/año (Tn/año)

Emisión Total Anual en toneladas/año (Tn/año) = Emisión Total del Parque Móvil Particular (VP) (incluye vehículos de carga) + Emisión Total del Transporte Públicos de Pasajeros (TPP). Diesel D150 para los Buses Diesel.

Para esta primera parte es necesario sumar las emisiones totales anuales (tn/año) obtenidas para: vehículos particulares (Tabla 5. Ej. 1) + transporte público de pasajeros energizado eléctricamente (Tabla 8. Ej. 1) + transporte público de pasajeros unidades diesel D150 (Tabla 9. Ej. 1)

	Emisión modelo bottom-up (tn/año)				
	NOx	PM10	CO2	CO	HC
VEHÍCULOS PARTICULARES	4.710,0	1.100,4	1.512.175,2	46.622,1	8.309,7
TPP ELÉCTRICO	38,0	0,4	1.646,8	12,9	33,0
TPP DIESEL D150	1.700,7	35,5	127.397,3	605,2	53,2
TOTAL	6.448,7	1.136,3	1.641.219,3	47.240,1	8.395,9

Tabla 11. Ej. 1

15.4.2 Cambio de combustible e incorporación de SCR

¿Qué sucedería si se mejora la calidad del combustible Diesel, D15, y se incorpora un dispositivo de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) a las unidades del TPP (EURO 5)?

Calcular Emisión Total del Transporte Públicos de Pasajeros (TPP) en estas condiciones

	Emisión modelo bottom-up (tn/año)				
	NOx	PM10	CO2	CO	HC
VEHÍCULOS PARTICULARES	4.710,0	1.100,4	1.512.175,2	46.622,1	8.309,7
TPP ELÉCTRICO	38,0	0,4	1.646,8	12,9	33,0
TPP DIESEL D15 + SCR	719,9	6,3	114.355,0	406,9	1,0
TOTAL	5.467,9	1.107,1	1.628.177,0	47.041,9	8.343,7

Tabla 12. Ej. 1

15.4.3 Comparar resultados.

El sistema de transporte de pasajeros y carga en el área de estudio presenta un comportamiento dispar en cuanto a sus emisiones anuales. La siguiente planilla muestra el aporte % anual de cada una de las categorías estudiadas en los puntos anteriores. En ella se puede observar que

la mayor emisión proviene del sistema de vehículos particulares de composición heterogénea (Tabla 4. Ej. 1)

	Emisión modelo bottom-up (tn/año)				
	NOx	PM10	CO2	CO	HC
VEHÍCULOS PARTICULARES	73,0%	96,8%	92,1%	98,7%	99,0%
TPP ELÉCTRICO	0,6%	0,0%	0,1%	0,0%	0,4%
TPP DIESEL D150	26,4%	3,1%	7,8%	1,3%	0,6%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 13. Ej. 1

La próxima planilla incluye a los buses del TPP con motor diesel incorporando un sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) y una mejora en los combustibles, Diesel D15. Es notoria la mejoría respecto a las emisiones ante la mejora de combustible e incorporación de un SCR.

	Emisión modelo bottom-up (tn/año)				
	NOx	PM10	CO2	CO	HC
VEHÍCULOS PARTICULARES	86,1%	99,4%	92,9%	99,1%	99,6%
TPP ELÉCTRICO	0,7%	0,0%	0,1%	0,0%	0,4%
TPP DIESEL D15 + SCR	13,2%	0,6%	7,0%	0,9%	0,0%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 14. Ej. 1

Es importante destacar que las emisiones que corresponden al transporte energizado eléctricamente, no se producen en la zona de estudio, sino en las distintas centrales generadoras por combustión de hidrocarburos que aportan al sistema interconectado nacional.

15.4.4 Determinar emisiones en función de los pasajeros transportados anualmente.

De Tabla 1. Ej.1 y Tabla 3. Ej. 1, se pueden obtener los datos agrupados de pasajeros que se movilizan en vehículos particulares y en TPP, tanto en buses diesel como en unidades eléctricas.

	Pasajeros anuales movilizados
Pasajeros en VP	220.000.000
Pasajeros en TPP buses eléctrico	12.462.980
Pasajeros en TPP buses diesel	226.070.579
TOTAL	458.533.559

Tabla 15. Ej. 1

Luego se determina el indicador emisiones por cada millón de pasajeros transportados

	Emisión por cada millón de pasajeros transportado (tn/año/millón pax)				
	NOx	PM10	CO2	CO	HC
VEHÍCULOS PARTICULARES	21,4	5,0	6.873,5	211,9	37,8
TPP ELÉCTRICO	3,1	0,0	132,1	1,0	2,6
TPP DIESEL D150	7,5	0,2	563,5	2,7	0,2
TOTAL	32,0	5,2	7.569,2	215,6	40,7

Tabla 16. Ej. 1

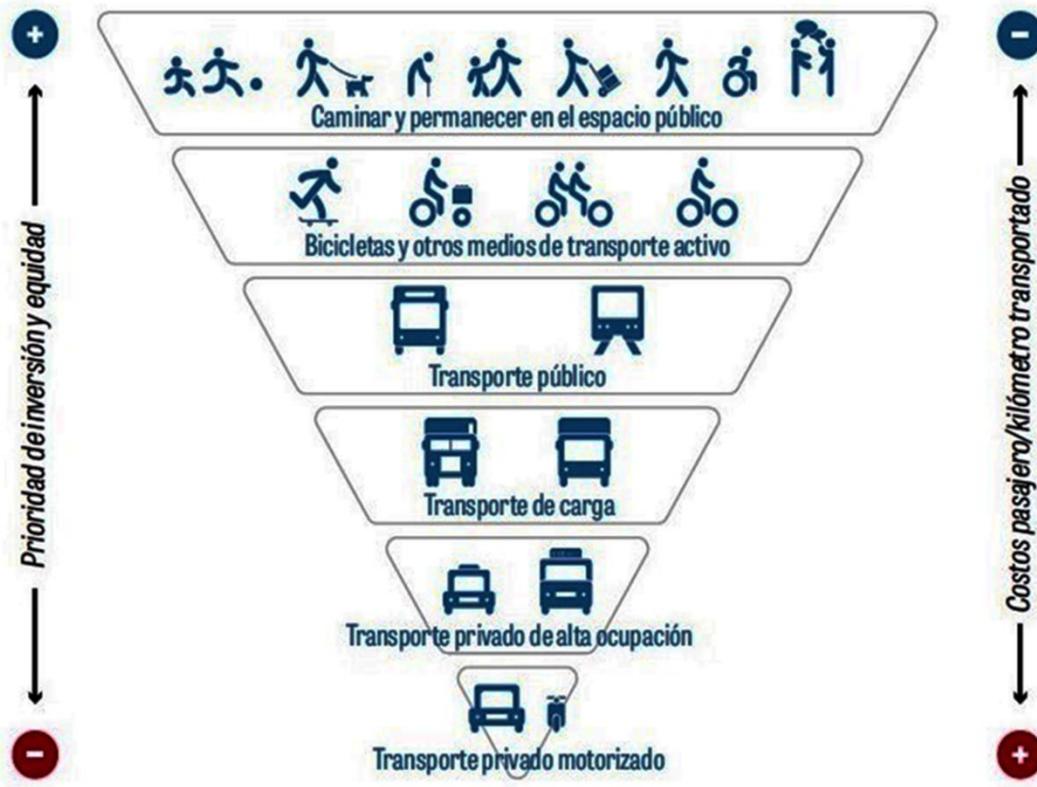
	Emisión por cada millón de pasajeros transportado (tn/año/millón pax)				
	NOx	PM10	CO2	CO	HC
VEHÍCULOS PARTICULARES	21,4	5,0	6.873,5	211,9	37,8
TPP ELÉCTRICO	3,1	0,0	132,1	1,0	2,6
TPP DIESEL D15 + SCR	3,2	0,0	505,8	1,8	0,0
TOTAL	27,6	5,1	7.511,5	214,8	40,4

Tabla 17. Ej. 1

Esta comparación de emisiones de cada sistema de transporte por millón de pasajeros transportados pone en evidencia el impacto que genera la movilidad individual o de bajo factor de ocupación de la unidad (motos, vehículos particulares, camiones) frente a los sistemas masivos de transporte público de pasajeros.

Como veremos en la unidad correspondiente a Transporte Público, las grandes ciudades tienden a favorecer la movilidad blanda o activa (peatón, bicicletas); el transporte público de pasajeros; la movilidad de cargas y recién en cuarto lugar queda el vehículo particular.

VIALIDAD CICLO-INCLUSIVA: RECOMENDACIONES DE DISEÑO



Pirámide de prioridades para el transporte urbano. Basado en ITDP, 2012 e Infratrans, 2013

Figura 32. Pirámide de prioridades para el transporte público urbano. ITDP-Infratrans, 2013

16 BIBLIOGRAFÍA

- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo Junta de Comercio y Desarrollo. Comisión de Comercio y Desarrollo. Reunión Multianual de Expertos sobre Transporte, Logística Comercial y Facilitación del Comercio. Cuarto período de sesiones Ginebra, 14 a 16 de octubre de 2015. Tema 3 del programa provisional. “Los sistemas sostenibles de transporte de mercancías: oportunidades para los países en desarrollo”.
- Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. República Argentina. 2017.
- Balance de gestión en energía 2016—2019 Emergencia, normalización y bases para la transformación. Secretaría de Gobierno de Energía. República Argentina. Diciembre de 2019
- Informe del Estado Ambiental 2016. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. República Argentina
- ABC de la Intermodalidad.
- Plan Integral de Movilidad Gran Mendoza 2030. CAF-Gobierno de Mendoza-UNCuyo-Facultad de Ciencias Económicas. Año 2016
- Dr. Enrique Puliafito. Informe Ambiental – PIMGM 2030 – Año 2015
- Tecnologías de control de emisiones para combustibles diésel UNEP. http://www.unep.org/tnt-unep/toolkit_esp/Actions/Tool11/Facts.html
- Posadas, F. (2000), CNG Bus Emissions Roadmap: from Euro III to Euro VI, International Council on Clean Transportation (ICCT), www.theicct.org
- Nylund N., Erkkil K., Lappi M., Ikonen M., Transit Bus Emission Study: Comparison of Emissions from Diesel and Natural Gas Buses - The Evaluation of Exhaust Emissions Performance of City Buses Using Transient Heavy-Duty Chassis Dynamometer EURO, VTT Research report, <http://www.cti2000.it/Bionett/BioG-2004-001%20Transit%20Bus%20Emission%20Study.pdf>
- Filtros Diesel. <http://www.filtrosdiesel.cl/oxidacion-catalitica-diesel-doc>
- <http://www.autopista.es/tecnologia/articulo/filtros-particulas-coches-diesel-preguntas-respuesta>
- <http://www.aficionadosalamecanica.net/catalizadores.htm>
- Ing. Gustavo Luis Pastor. JTP Cátedra Transporte. Facultad de Ingeniería. UNCuyo. 2023
- Otros autores citados en el presente trabajo.