

Cambio Climático

¿Son suficientes las medidas tomadas?

Maestría en Econometría

Santiago Arroyo Marioli (Legajo: 17S795)

Tutor: Gabriel Montes Rojas

Fecha: 11/05/2020

Resumen: En esta tesis estaré analizando principalmente dos tipos de medidas tomadas por distintas ciudades del mundo para reducir la emisión de dióxido de carbono. Las acciones que se tomaron para evitar el cambio climático las dividí en tres: aquellas relacionadas a “energía”, las que son afines a “transporte”, aquellas relacionadas a “temas urbanos” y “otras” (que son las que no aplicaban a ninguno de los anteriores). Existen diversos estudios científicos que muestran que todas estas medidas realmente reducen la emisión de CO₂, pero la pregunta que me hago en esta tesis es ¿qué tipo de medidas son más efectivas? Tomando observaciones anuales desde 2012 hasta 2017 de aproximadamente 50 ciudades, podrán observar cómo aquellas ciudades que atacaron la emisión de CO₂ con medidas de “urbanas” como mejoras en el tránsito, espacios verdes y/o recolección de basura han reducido su emisión más que aquellas ciudades que cambiaron sus políticas en torno a la producción y consumo de energía. Los resultados arrojados en esta tesis pueden ser extendidos y analizados en muchas dimensiones.

Contenido

Índice	2
Glosario.....	3
1 Introducción.....	4
2 Investigaciones.....	8
Energía	8
Transporte.....	15
Basura	20
Desarrollo de la comunidad	24
3 Datos	27
4 Modelo.....	31
5 Conclusiones y Debate	36
Bibliografía	38

Glosario

CO₂: Dióxido de carbono

gCO₂: Gramos dióxido de carbono

gCO₂eq: Gramos de equivalente a dióxido de carbono

kgCO₂eq: Kilogramos de equivalente a dióxido de carbono

tCO₂eq: Toneladas de equivalente a dióxido de carbono

GtCO₂eq: Gigatoneladas de equivalente a dióxido de carbono

PgC: Petagramos de carbono

W: Watts

KW: Kilowatts

MW: Megawatts

KWh: Kilowatts hora

M²: Metros cuadrados

EJ: Exajulio

1 Introducción

El 8 de octubre de 2018 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (conocido como IPCC por sus siglas en inglés), publicó el reporte “Global Warming of 1.5°C” (2018) sobre las consecuencias ante un aumento de temperatura global mayor a 1.5° (y 2°) con respecto a la temperatura de la era pre-industrial. Los impactos no solo se muestran a un nivel ambiental sino también a nivel de calidad de vida de los seres humanos.

Según este reporte los efectos son de todo tipo, incluso algunos pueden ser duraderos o irreversibles. Arrecifes de corales disminuirán entre un 70% y 90% más. De las 105.000 especies estudiadas, 18% de los insectos, 16% de las plantas y 8% de los vertebrados perderán más de la mitad de los territorios adecuados para su subsistencia si la temperatura aumenta más de 2°. Los impactos en nuestro ecosistema afectan a la humanidad en temas de salud, calidad de vida, provisión de agua y crecimiento económico. Por ejemplo, se espera que enfermedades como Malaria o Dengue aumenten.

Si bien este reporte es uno de los que más impactos tuvieron a nivel social, existen muchas instancias previas donde se abordaron estos temas. Uno de los más relevantes es conocido como “El protocolo de Kioto” (UNFCCC, 2008) donde los países fueron divididos en dos grupos (países desarrollados y en transición, por un lado, y países emergentes y en desarrollo por el otro) con objetivos distintos en la disminución de emisión de diferentes gases. Un evento más reciente es el acuerdo de París donde se reafirma el objetivo de evitar un aumento mayor a 2° de temperatura con esfuerzos para no alcanzar 1.5°.

Ya desde el acuerdo de Kioto (y en algunos casos desde antes) muchos países empezaron a tomar medidas para evitar este cambio climático. Sin embargo, los enfoques de cada ciudad fueron muy distintos.

La preocupación por el cambio climático surgió y siguió avanzado en el ámbito académico. Desde los años 90 la cantidad de investigaciones en torno al cambio climático aumentaron exponencialmente a medida que la preocupación aumentaba. ¿Cuáles son los escenarios posibles? ¿Cuáles son las principales causas? ¿Qué medidas hay que tomar? ¿Cuáles son los costos de tales medidas? Estas son algunas de las preguntas que muchos investigadores intentan responder.

En el caso de este trabajo la pregunta que me intento responder es un poco distinta. Veremos a lo largo de este trabajo las distintas medidas posibles para mitigar la emisión de CO₂. En cada una existen distintas estimaciones sobre los impactos que pueden generar y los costos que tienen cada. Como dije anteriormente, las ciudades

tomaron medidas muy distintas y, la gran mayoría de ellas, tomaron más de una medida. El análisis de este trabajo permite entender cuáles medidas fueron más efectivas, más allá de las estimaciones individuales que pueda tener cada una.

Según Joeri Rogelj et al. (2015) necesitamos tener un proceso de descarbonización de los sistemas de energía. Basándose en la literatura provista en IPCC AR5 (2014), muestra distintos escenarios simulando el impacto de este proceso, dependiendo de la intensidad de este proceso en cada resultado. Por ejemplo, para alcanzar el objetivo de 1.5°, en la mayoría de los escenarios debe haber una mejora en la intensidad de entre 2% y 3% anual hasta 2050, eso sería, la emisión promedio por unidad de energía provista. El proceso de invertir en energía renovable viene dándose desde hace muchos años por distintas razones, las cuales no solo provienen de la reducción en la emisión de gases tóxicos. En la primera y segunda guerra mundial, se apoyaba el uso de energía renovable con fines militares, mientras que durante la crisis del petróleo el apoyo aumentó mucho para proteger a las economías ante shocks de precios de petróleo o bien los accidentes de Chernóbil (1986) y Fukushima (2011) fueron buenos incentivos para reemplazar reactores nucleares (Zachmann et al. 2014).

Evento	Razón del apoyo público a energía renovable (ER)
1° GM (1914-18) y 2° GM (1939-45)	Energía renovable para uso militar
Crisis de Petróleo 1972 y 1979	Reducción de la dependencia a la energía, protección de las economías ante shocks de precios del petróleo
Reporte del Club de Roma 1972	Prepararse por la finitud de los recursos de energía
Conferencia de Kioto 1996	ER para mitigar las emisiones de carbono de la producción de energía
Alrededor de los años 2000	ER para estar dentro de las políticas de las industrias
Crisis 2008	Despliegue de ER como política macroeconómica
Chernóbil 1986 y Fukushima 2011	ER para reemplazar reactores nucleares
Beneficios Colaterales	ER para reducir polución de plantas de energía fósiles

Tabla 1 | Razones del apoyo público a energía renovable. Extraído de Zachmann et al. (2014).

Así es como algunas ciudades apuntaron a cambiar las maneras de producción de energía. La ciudad de Yokohama por ejemplo en 2013 reportó dar subsidios para la generación de energía fotovoltaica y solar térmica. Al mismo tiempo creó una institución que obligada a aquellos edificios nuevos que superen cierto tamaño a considerar energía renovable. Un enfoque distinto, pero también orientado a la producción de energía, lo da la ciudad de Zúrich, que en 2016 reportó optimizar las conexiones de calefacción, cerrando varias líneas de gas y conectando algunas

propiedades a las líneas de calefacción de ciertos distritos que funcionan con incineración de basura.

Relacionado a esto otras ciudades tomaron medidas con un enfoque distinto donde el objetivo fue optimizar el consumo de energía. Siendo un poco más estrictos que la ciudad de Yokohama, la ciudad canadiense de Edmonton tomó políticas en la construcción de edificios nuevos para que los mismos tengan energía sustentable. También en 2014 en Moscú se tomaron medidas para reemplazar las bombillas que iluminan las calles con tecnología LED.

No obstante, la producción y el consumo de energía no son las únicas causas que dañan el medio ambiente emitiendo dióxido de carbono. Toda la industria que está detrás de los transportes (tanto domésticos como industriales) son responsables de gran parte de la emisión de CO₂. Parry et al. (2006), muestran sobre las consecuencias en la salud a causa de los gases emitidos por los vehículos (haciendo foco en los livianos). Las consecuencias son varias, yendo desde dificultades para respirar como la imposibilidad de hacer ejercicio y otros problemas cardiovasculares más serios. Una mejora en el tránsito trae aparejado otras ventajas que van más allá del tema de nuestro interés, como la reducción de la dependencia al petróleo, reducción de congestiones y accidentes de tránsito.

Las acciones tradicionales para atacar tal problema se basan principalmente en impuestos a los combustibles y algunos estándares en la producción que llevan a un consumo cada vez menor por parte de los vehículos. Por ejemplo, en Montreal se empezaron a cambiar los autobuses que consumen biodiesel por modelos híbridos. Pero además existen algunas acciones no tan tradicionales que apuntan a evitar las congestiones de tránsito. En muchos casos los peajes son mayores cuando se llegan a horarios pico. En otros casos, se apuntó a una reducción de la cantidad de automóviles en las calles incentivando que los ciudadanos utilicen más los autobuses, subtes y/o tranvías. Tal es el caso de Zaragoza que, en 2014, se tomaron medidas para mejorar los accesos a los sistemas de transporte público.

Otra gran causa de la emisión de CO₂, es algo completamente distinto a estos temas y es el manejo de la basura. Los vertederos son otros de los principales contribuidores a la emisión de dióxido de carbono. Este tema viene siendo de mucha importancia en casi todos los países puesto que la acumulación de basura cada vez es un mayor problema. En Vogt et al (2015) se muestra los impactos en estimados en toneladas emisión de CO₂ a causa de los vertederos y otros, mostrando que políticas de reciclado de basura son las de mayor efecto. En este reporte se muestran ejemplos de Estados Unidos, India y Egipto (entre otros) sobre cómo es el manejo de la basura y las consecuencias en los gases que producen el efecto invernadero.

De esta manera, ciudades como Bogotá o Atenas decidieron apuntar a mejorar la generación y reciclado de basura, ya sea con programas de educación y prevención como con disponibilidad de distintos cestos de basura en la ciudad, o bien mejorando el sistema de recolección.

Más allá de que cada ciudad tome medidas distintas, la realidad que el objetivo de todas es el mismo: reducir las emisiones de CO₂. El concepto de que las emisiones de CO₂ son causa de aumento de temperatura es discutido en algunos ámbitos científicos. Tal discusión excede el objetivo de esta tesis y sólo me enfocaré en la emisión de CO₂.

2 Investigaciones

Energía

Casi sin importar el camino que cada ciudad decida tomar para combatir el cambio climático, llegará un punto en el que deban transformar su sistema de producción y consumo de energía. Si queremos llegar a evitar un aumento de la temperatura superior a 1,5°, un proceso de descarbonización es necesario.

El sector productor de energía convierte el 75% del total de energía primaria en otras formas de energía como electricidad, calefacción, gas natural y otros. La industria consume el 84% del final uso final del carbón, 26% de los productos de petróleo, 47% del gas natural, 40% de la electricidad, y 43% de la calefacción. La parte que se encarga de la transportación con el 62% de los combustibles líquidos producidos. El sector de la construcción es responsable del 46% del gas natural, 76% de los combustibles renovables y basura, 52% de la electricidad y 51% de la calefacción (IPCC, 2014a). Estos números muestran que el sector productor de energía es en sí mismo el mayor consumidor, por lo que un sistema más eficiente es necesario.

En 2010, este sector fue responsable del 49% de todos los gases de efecto invernadero relacionados a la energía y del 35% de las emisiones de los mismos gases antropogénicos (JRC, 2013). Emisiones provenientes de la de la generación de electricidad y calefacción contribuyen al 75% del incremento de la última década seguido en un 16% por la producción de combustibles y un 8% en refinamiento de petróleo.

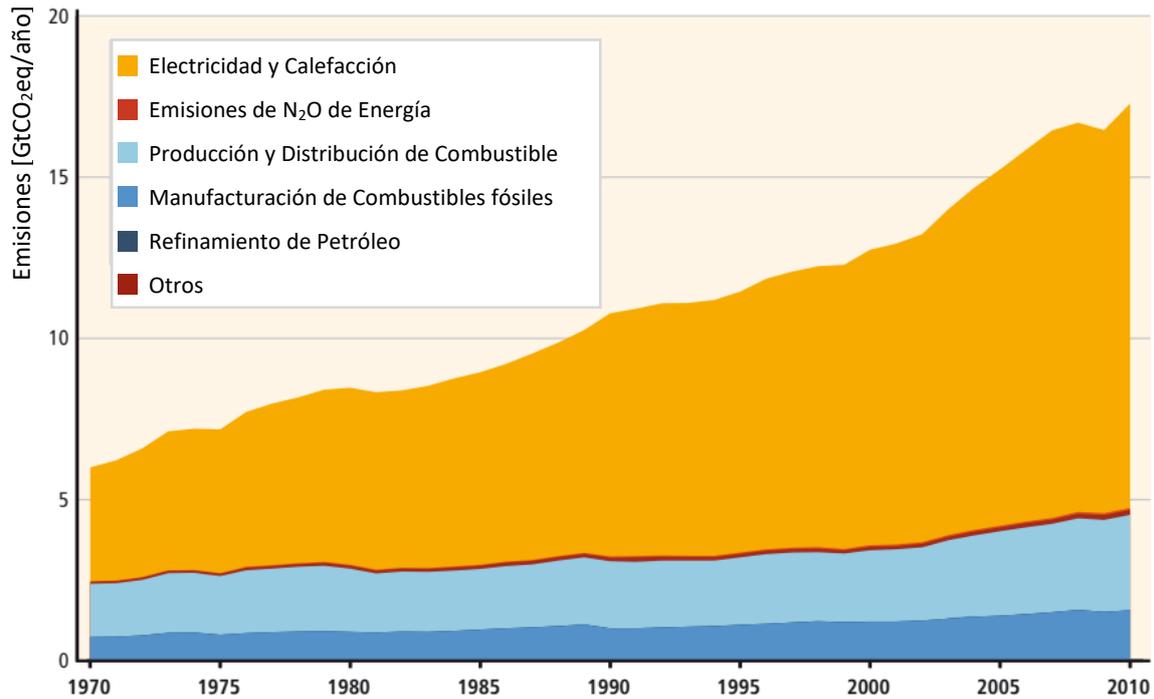


Gráfico 1 | Sector de proveedores de energía. Emisiones por subsector. Basado en la emisión histórica base de datos EDGAR (JRC, 2013). Extraído de IPCC (2014a)

Aunque las fuentes de energía renovable son usualmente discutidas como un grupo, las tecnologías asociadas a las mismas son numerosas y diversas. Estas fuentes son capaces de suministrar electricidad en general, pero muchas también pueden proveer energía térmica y mecánica, como al mismo tiempo producir combustibles que se pueden utilizar para múltiples necesidades. La producción de energía utilizando energías renovables muchas veces es desplegada por largos y centralizados sistemas de energía (Sathaye et al., 2011; Sims et al., 2011; REN21, 2013). Sin embargo, en muchos casos puede desplegarse de una manera descentralizada, por ejemplo, para abastecer la energía de un edificio.

Tarek M. Khalil (1981) sostenía que la energía del futuro debería contar con las siguientes características:

- Debería ser abundante y preferentemente renovable
- Debería ser limpia de tal manera que cause polución ni produzca basura
- Debería ser segura en la producción, utilización y disposición
- Debería ser económicamente competitiva

Pocas formas de energía cumplen con todas estas características.

Fuente de Energía	Tipo	Vida útil estimada o disponibilidad en EE UU comparando con el consumo de 1973	Viabilidad de la Fuente
Viento	Renovable	Potencial de 152000 MW/año y satisfacer 6,1% de consumo	Muy limitado y depende de cada región
Agua	Renovable	0,177 * 10 ¹² W/año y satisface aproximadamente 7,1% del consumo	Limitado y depende de la región
Marea	Renovable	Necesita áreas muy grandes. El área de Lago Superior satisface el 3% del consumo	Muy limitado
Geotérmica	No Renovable	Recurso agotable (estimado de 50 años) y satisface aproximadamente el 5,6% del consumo	Limitado
Carbón	No Renovable	Puede proveer energía entre 58 y 463 años, basado en el consumo de 1973	Abundante pero con gran impacto ambiental
Fisión	No Renovable	Vida útil estimada de 10 años (sin reactor reproductor), 224 (con reactor reproductor)	Inadecuado sin reactor reproductor, considerablemente riesgoso por desechos, sabotaje, proliferación de poder nuclear y defectos de seguridad
Solar - Baja Temperatura	Renovable	Calefacción, enfriamiento y calentamiento de agua satisface el 25% del consumo	Viable, sin embargo 75% de la energía necesitada no puede ser cubierta por este método
Solar - Fotosíntesis (de basura orgánica)	Renovable	Satisface aproximadamente el 12% del consumo	Muy limitado
Solar - Térmica	Renovable	312 m ² /persona para obtener el consumo de una año	Se necesitan avances de energía potencialmente grandes
Solar - Fotovoltaica	Renovable	Para celdas operando al 10% de eficiencia, 470 m ² /persona son necesarias para capturar energía para satisfacer el consumo	Abundante pero cara (USD1700/m ²). Se necesitan avances tecnológicos
Maremotérmica	Renovable	En estadios iniciales de desarrollo	Abundante y practicable si se aplica totalmente

Tabla 2 | Energía potencial de varias fuentes alternativas de energía usando el consumo de $2,5 \times 10^{12}$ watts como base (1973). Estudio realizado por Root (1977). Extraído de Tarek M. Khalil (1981).

Para evitar el cambio climático lo que más importa es la emisión de CO₂ hacia la atmósfera proveniente de quemar combustibles fósiles. Las emisiones globales netas por el uso de la tierra se estiman en 1.4, 1.5 y 1.1 PgC/año para las décadas de 1980, 1990 y 2000, respectivamente (ver tabla 3), por el método de Houghton et. al 2012. Teniendo en cuenta el total de las reservas de y recursos de combustibles fósiles, o sea entre 51.050 EJ y 108.410 EJ para el primero, y entre 353.850 EJ y 586.750 EJ para el segundo (tabla 4), contienen suficiente carbón, si se libera, para llevar a un forzamiento radiativo superior al requerido al límite global para evitar un aumento de la temperatura superior a 2°C.

Usos de terreno incluidos	Procesos incluidos	1980 - 1989 PgC	1990 - 1999 PgC	2000 - 2009 PgC
		yr-1	yr-1	yr-1
Método guardado en libros (global)				
Houghton et al. (2012)	Cosecha de madera			
	Cultivo Rotativo	1,4	1,5	1,1
	Cosecha de cultivos			

Tabla 3 | Estimaciones de flujo neto de CO₂ a la atmósfera de los cambios del uso en los terrenos para décadas recientes. Valores positivos de pérdidas de CO₂. Varias formas del uso de la tierra están incluidas con diferentes estimaciones. Se incluyen procesos adicionales de pérdidas de biomasa. Datos de los cambios en terrenos: FAO (2010). Datos de Biomasa, basado en el promedio de estimaciones de biomasa de Houghton et al. (2012). Extraído parcialmente de IPCC (2013). En el gráfico original se reportan otras estimaciones.

	Reservas		Recursos	
	EJ	GtC	EJ	GtC
Petróleo Convencional	4.900 - 7610	98 - 152	4.170 - 6150	83 - 123
Petróleo No Convencional	3.750 - 5.600	75 - 112	11.280 - 14.800	226 - 297
Gas Convencional	5.00 - 7.100	76 - 108	7.200 - 8.900	110 - 136
Gas No Convencional	20.100 - 67.100	307 - 1.026	40.200 - 121.900	614 - 1.863
Carbón	17.000 - 21.000	446 - 542	291.000 - 435.000	7.510 - 11.230
Total	51.050 - 108.410	1.002 - 1.940	353.850 - 586.750	8.543 - 13.649

Tabla 4 | Estimaciones de reservas y recursos fósiles, y su contenido de carbono. Reservas son aquellas cantidades capaces de ser recaudadas bajo las condiciones económicas y operativas existentes (BP, 2011); recursos son aquellos cuya extracción económica es potencialmente posible (UNECE, 2010). Extraído de IPCC (2014a).

Energía eólica

Desde 1980 hasta ahora la tecnología relacionada a la producción de energía mejoró a pasos agigantados. La capacidad de la energía eólica acumulada en el siglo 21, tal como se puede apreciar en el gráfico 2, aumenta marginalmente cada vez más. A tal punto que para fines del 2015 la energía eólica fue responsable del 55% de toda la capacidad de la energía renovable a nivel global (sin incluir energía hidráulica) y también del 3,7% de toda la producción de energía global (Blaabjerg et al. 2017).

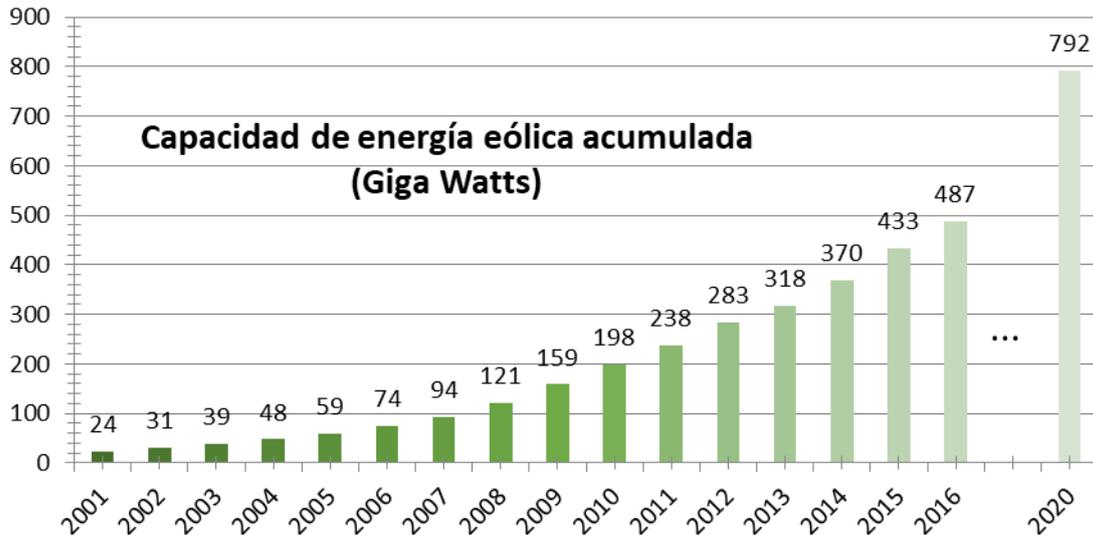


Gráfico 2 | Capacidad de energía eólica acumulada desde 2001 a 2020. Fuente: REN21 (2016). Extraído de Blaabjerg et al. (2017).

Aunque los costos de energía han ido declinando significativamente desde 1980, se necesitan políticas para asegurar un rápido despliegue en muchas regiones del mundo (NRC, 2007). La performance de las plantas de energía eólica es altamente dependiente de la zona en las que están ubicadas. Al mismo tiempo depende de la optimización, performance y disponibilidad de las turbinas. La construcción de torres altas y grandes rotores, son grandes contribuyentes al aumento de la capacidad de captura de energía (Ewea, 2009). Hoy por hoy los costos de inversión varían En 2009 las plantas instaladas en EE. UU. costaron en promedio USD 1900/kW, mientras que entre 2008 y 2009, lo costos que enfrentó China fueron entre USD 1.000 y USD1.350/kW (Wiser and Boluinger, 2010).

Estimarlos beneficios de usar energía eólica es complicado debido a las características operativas de los sistemas eléctricos y las decisiones que se toman a la hora de realizar las inversiones correspondientes. Sin embargo, existen muchas estimaciones al respecto. Las cuales están centradas entre 8 y 20 g CO₂eq/KWh (percentil 25 a 75). Más allá de estas estimaciones, la mayor ventaja de utilizar esta fuente de energía viene del reemplazo a la producción de energía proveniente de combustibles fósiles.

Energía hidroeléctrica

Otra fuente de energía renovable es la energía hidroeléctrica. El potencial que posee este recurso es muy grande. Siendo que la mayoría de las precipitaciones usualmente se dan en áreas montañosas, donde las diferencias de altura son las más largas, el mayor potencial para el desarrollo de la energía hidroeléctrica es en las regiones montañosas o en ríos provenientes de tales regiones.

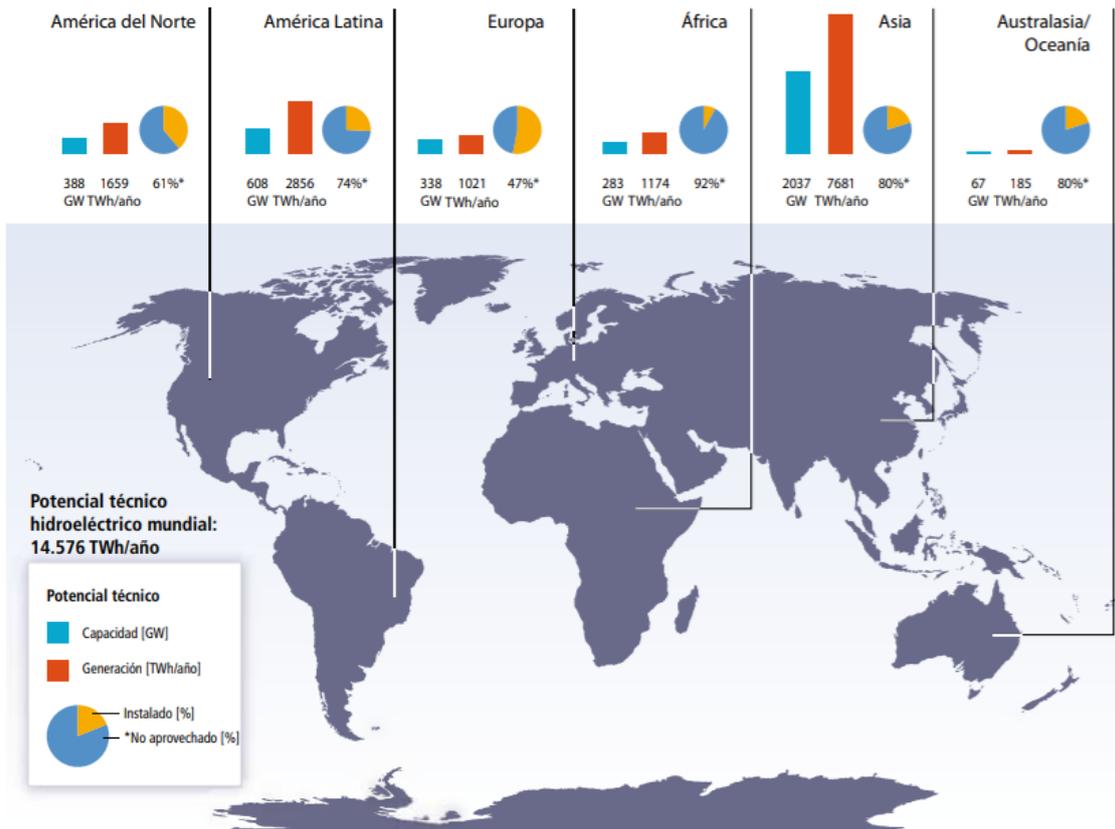


Gráfico 3 | Potencial técnico hidroeléctrico regional en términos de generación anual de capacidad instalada, y porcentaje del potencial técnico no aprovechado en 2009. Extraído de IPCC (2011b).

Desde 1973 hasta el día de hoy las plantas hidroeléctricas han ido creciendo, no solo en cantidad y tamaño sino también en tecnología. Hoy por hoy la eficiencia en la transformación de energía es muy alta, estando por encima del 90% de eficiencia mecánica en las turbinas y de 99% en el generador. En el año 2008 159 países contaban en algún nivel con la generación de energía proveniente de este recurso. Incluso hay países como Brasil y Noruega que son fuertemente dependiente de este recurso, donde ocupa el 83,9% y 99%, respectivamente, de la generación de energía total IPCC (2011b).

Los costos relacionados a la producción, distribución y utilización son muy variados. Existen muchos estudios que estiman estos valores y, para la inversión inicial, van desde menos USD500/kW hasta USD 19.000/kW (aunque los valores superiores a USD 3.250/kW representan menos del 10% de los casos).

Como en toda opción de administración de energía y agua, la producción de energía hidroeléctrica tiene impactos negativos y positivos en lo social y en lo ambiental. En cuanto a lo social existe la posibilidad que algunas comunidades viviendo cerca de la reservas o zonas de construcción, sean re-allocadas río abajo. Por el lado del medioambiente pueden dejar una fuerte impronta a un nivel local o regional, pero hay muchas ventajas a nivel macro-ecológico (IPCC, 2011b). En cuanto

las emisiones de dióxido de carbono nuevamente los resultados son variados, pero los mismos están centrados entre 4 y 14 g CO₂eq/KWh (percentil 25 a 75).

Energía Solar

Existe también una tercera fuente de energía renovable virtualmente inagotable, la energía solar. Esta misma está disponible (en mayor o menor medida) en todos los países y regiones del mundo. El potencial que posee esta fuente de energía es muy alto desde el punto de vista teórico. Pero la cantidad de energía solar que podría ser puesta para el uso de la humanidad depende significativamente en factores locales como disponibilidad en ciertos terrenos, condiciones meteorológicas y la demanda de los servicios de energía. La tabla 5 resume los rangos de estimaciones de toda la energía potencial en cada región. Debido a la alta exposición al sol que poseen las regiones del norte de África y África subsahariana, el potencial que poseen estas regiones es de los más altos, llegando a obtener 11.060 EJ y 9.528 EJ, respectivamente (Rogner et al., 2000).

Regiones	Rango de estimaciones	
	Mínimo (EJ)	Máximo (EJ)
América del Norte	181	7.410
Latinoamérica y Caribe	113	3.385
Europa del Oeste	25	914
Europa Central y del Este	4	154
Ex Unión Soviética	199	8.655
Medio Oriente y Norte de África	412	11.060
África Subsahariana	372	9.528
Asia del Pacífico	41	994
Asia del Sur	39	1.339
Asia central	116	4.135
OCDE del Pacífico	73	2.263
Total	1.575	49.837

Tabla 5 | Potencial técnico de energía solar regional no diferenciado por conversión de tecnología. Autor: Rogner et al. (2000). Extraído de IPCC (2011a)

Si bien, al igual que las fuentes de energía anteriores, existe un consenso sobre las ventajas ambientales que posee esta fuente de energía frente a las que provienen de fósiles, no existe un consenso en los impactos negativos que puede tener. Antes de pasar a los impactos ambientales, quiero exponer que los impactos sociales son bajos (IPCC, 2011a). Estos son dos principalmente: impactos visuales, que genera mucha resistencia a colocar paneles en edificios históricos, y de sonido, durante la fase de construcción. Yendo a los impactos ambientales, los resultados de costos de daños por kilo de contaminantes por kWh fueron presentados por la Asociación Internacional de Energía Solar por Gordon (2001). Otro estudio es el de NEEDS (2009), cuyos resultados están en la tabla 6, donde se confirma que, si bien la energía renovable es comparativa superior (en término ambientales al menos) a las no renovables, tienen efectos

negativos a tener en cuenta (con proyecciones para los años 2025 y 2050). Los mismos giran en torno a la salud, biodiversidad, uso de tierra, pérdidas de cultivo y materiales, y es muy importante aclarar aquí que, si bien estos efectos negativos deben ser tenidos en cuenta, los efectos por extraer energía a través del carbón son mucho peores. En cuanto a las emisiones de CO₂, también en este caso existen muchas estimaciones al respecto. Sin embargo, sí se puede decir que, para el caso de las tecnologías fotovoltaicas, la mayoría se encuentran centradas alrededor de 30 y 80 g CO₂eq/kWh.

	Costos externos cuantitativos por modernización fotovoltaica, techo de tejas, silicio monocristalino, condiciones medias de Europa; en USCentavos /kWh			Costos externos cuantitativos por concentración de energía solar; en USCentavos /kWh		
	2005	2025	2050	2005	2025	2050
Salud	0,17	0,14	0,10	0,65	0,10	0,10
Biodiversidad	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,06
Pérdidas de Cultivos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pérdida Material	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Uso de terreno	N/A	0,01	0,01	N/A	N/A	N/A
Total	0,18	0,17	0,12	0,69	0,10	0,06

Tabla 6 | Costos asociados a energía fotovoltaica y a la concentración de energía solar. Fuente: NEEDS (2009). Extraído de IPCC (2011a).

Debido a los diferentes métodos para aprovechar la energía solar los costos materiales necesarios varían. Las tecnologías y las condiciones de cada mercado varían tanto que los costos no están muy estandarizados. Por ejemplo, los costos para calentadores solares de agua van desde USD 83/m² a USD 1.200/m² (lo equivalente a USD 120 a 1.800/kW). En el caso de los módulos fotovoltaicos, la apertura de los precios no es tan grande y los precios fueron cayendo a lo largo de los años, partiendo de USD 65/W en 1976 a USD 1.5/W para 2010.

Transporte

Uno de los sectores que también es responsable en una buena parte de las emisiones de CO₂ de nuestro planeta, es el sector de transporte (IPCC, 2014b). Esto es así porque está involucrado no solo en casi todas las industrias, sino también en el día a día de cada uno de las personas. Como se puede apreciar en el gráfico 4 el total de energía utilizada en este sector, está repartido casi equitativamente entre el transporte de pasajeros y el transporte de carga (56% y 44% respectivamente). Por lo que para lograr un cambio en las emisiones de dióxido de carbono. Son ambas partes las que necesitan realizar cambios. Por otro lado, se puede observar que casi dos tercios del total de energía requerida para el transporte se pierden en la conversión. Esto muestra que es necesario grandes avances de tecnología en este sector.

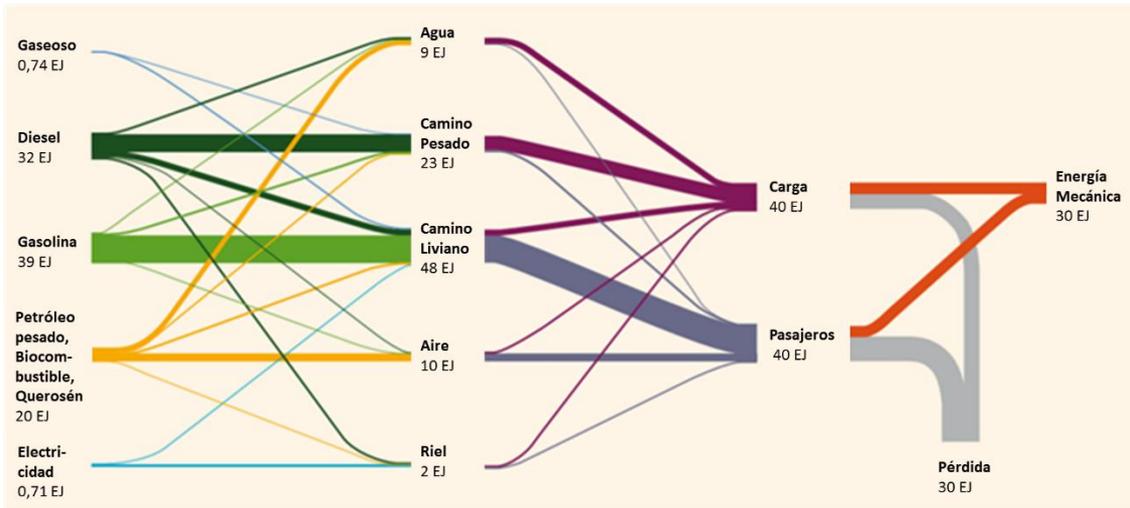


Gráfico 4 | Consumo final de energía de combustibles por subsector de transporte en 2009 para pasajeros y carga, con pérdidas por calentamiento alrededor de dos tercios del total de energía obteniendo una eficiencia de conversión de combustible a energía kinética promedio alrededor del 32%. El grosor de las líneas indica los flujos totales de energía (IEA 2012). Extraído de IPCC (2014bb).

Para entender un poco más cuáles son los cambios necesarios, debemos preguntarnos, además, cuanto es lo que emite cada uno de los participantes del sector de transporte. En el gráfico 5 se observa como los transportes de carga son responsables de la mayor cantidad de emisión directa por kilómetro recorrido. Yendo un poco más a fondo con esto, se ve como el transporte de carga aéreo emite una cantidad de CO₂ exageradamente superior al resto, teniendo valores que van desde 500 gCO₂/km a 1000 gCO₂/km. Sin quedarse muy atrás, está el sector de transporte de carga por rutas donde el promedio ronda los 500 gCO₂/km.

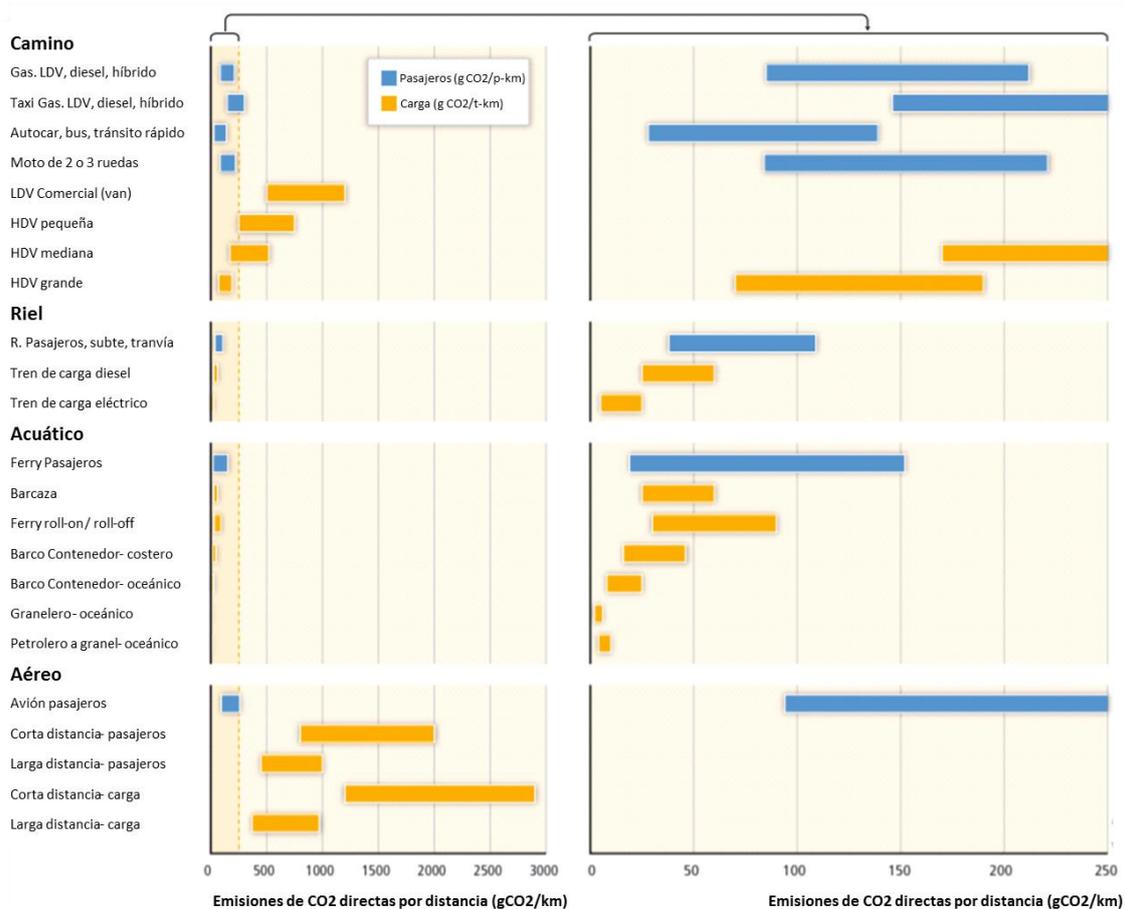


Gráfico 5 | Rangos típicos de emisión directa por pasajero por kilómetro y por tonelada por kilómetro para los medios de transporte principales cuando son alimentados por combustibles fósiles incluyendo generación de electricidad térmica para los de riel. (ADEME, 2007; USDOT, 2010; Den Boer et al., 2011; NTM, 2012; WBCSD, 2012). Extraído de IPCC (2014b).

Como dije anteriormente el sector de transporte necesita tener una reforma si queremos alcanzar la meta de evitar el aumento de temperatura en un 1.5°C o 2°C. En las siguientes subsecciones veremos cuáles son los 4 enfoques distintos que tienen las medidas para reducir emisión de CO₂, para ver más en detalle las mismas ver ACC (2010).

Volumen total de actividad

Probablemente una de las medidas más difíciles de llevar a cabo es reducir la circulación en las calles de una manera global. Esto es así porque los ciudadanos tienen ciertas actividades que no pueden dejar de hacer. Algunas porque son vitales, como por ejemplo ir de compras para las comidas de la semana. Otras porque son necesarias para mejorar su calidad de vida, como ir al trabajo o llevar los hijos a la escuela. Y algunas otras porque simplemente necesitamos un tiempo de ocio.

Desde 1980 la cantidad de vehículos por pasajero por milla, creció 2,3% en promedio en Estados Unidos, uno de los países donde más se utilizan los autos. Según

BTS (2017) el 19,5% utiliza el auto con fines de shopping o compras de los productos necesarios diariamente (gráfico6). El 16,6% lo utiliza para ir a trabajar y el 34% lo utiliza para tareas regulares de del hogar. Muchas de estas actividades pueden ser reducidas principalmente de dos maneras.

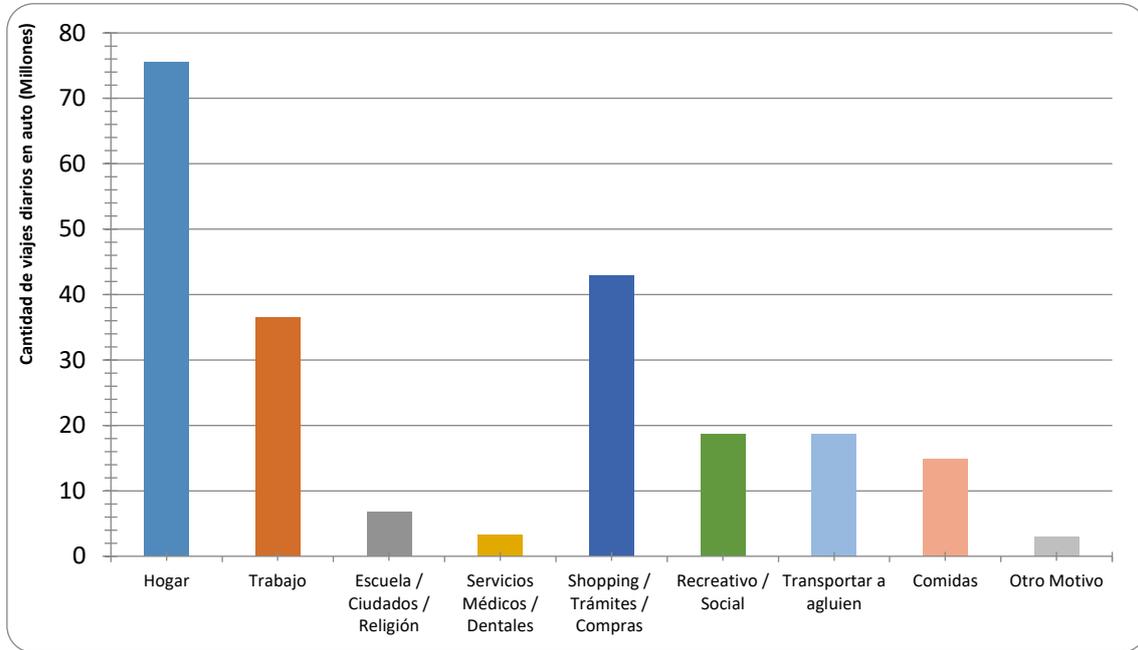


Gráfico 6 | Cantidad de viajes diarios en auto en Estados Unidos por motivo. Valores obtenidos de BTS (2017).

Primero, el crecimiento de la densidad poblacional y de empleo lleva a que los orígenes y destinos de los viajes estén, en promedio, cada vez más cercanos. Esto no solo provoca una menor cantidad de vehículos en la calle, sino que habilita otros medios de transporte más verdes como las bicicletas o monopatines, e incluso puede llevar a que vayan caminando a sus trabajos. Esto, además, debe ir acompañado de un crecimiento de negocios tales como supermercados (o minimercados), tiendas de ropa, escuelas, cines, etc. de tal manera de achicar las distancias sin importar la necesidad. Para lograr todo esto debe haber incentivos para lograr tal concentración, como ser, ventajas impositivas, subsidios y otros.

Segundo, la mayoría de los automóviles están diseñados para transportar 5 personas. En 1977 un auto transportaba en promedio 1.9 personas. En 2001 cae un 14%, llevándolo a un promedio de 1.6 personas. Para ir y volver del trabajo el valor es de 1.1 (Hu and Reuscher, 2005). Estos resultados muestran que desde 1977 hubo un aumento drástico en el uso de los vehículos donde cada vez los ciudadanos decidieron transportarse a sí mismos. Por lo tanto, lo que se necesitan son medidas que incentiven compartir el método de transporte. Este último punto es más difícil de llevar a cabo, puesto que cada individuo tiene su propio auto y difícilmente quiera compartirlo con un extraño. Sin embargo, el avance de la tecnología nos lleva a una era donde todos estamos comunicados. La creación de ciertas aplicaciones donde uno

“ofrece” su vehículo para transportar a otros desde un destino particular a otro es un buen incentivo económico. Para ver el efecto de esto, tendremos que esperar un poco más.

Cambiar a métodos de transporte que emitan menos

Atado a lo que mencionaba en el punto anterior, una segunda medida para reducir la emisión que está atada al ámbito de transporte es cambiar el método de transporte. Esto tiene dos opciones principalmente. El primero se refiere al transporte público debe brindar un servicio bueno, tratando de convencer a los ciudadanos de que es una mejor opción. Si bien la comodidad de estar cada uno en su vehículo es difícil de suplantar, los incentivos pueden venir del lado del precio y la velocidad. Por el lado del precio existen métodos, como los subsidios, que ayudan a reducir el costo. Por el lado de la velocidad, se pueden realizar medidas para que el transporte público tenga un camino único y separado del transporte privado, llevando a los pasajeros a su destino de una manera más rápida.

Sin embargo, si se quiere obtener una reducción significativa de emisión de CO₂ por los vehículos, es necesario que mucha gente utilice el transporte público. Si esto no sucede se obtiene el efecto contrario al deseado, y es que se termina emitiendo más. De hecho, en 2006 en EE. UU. Los colectivos utilizaron un 24% más de energía por pasajero por milla, que los autos privados. A pesar de esto, las líneas subterráneas usaron un 20% menos de energía, pero representa una minoría en el total del transporte público utilizado.

El otro cambio en el método de transporte, ya para distancias medias (entre 200 y 800 km) es el uso de trenes. En Europa, este sistema de transporte cada vez gana más adeptos, dado que los altos impuestos a los combustibles y los altos peajes desincentivan a las personas a moverse en sus vehículos privados. Sin embargo, Europa cuenta con una gran ventaja que muchas otras zonas no las tienen. En el viejo continente, las áreas metropolitanas se encuentran entre sí a menos de 800km a la redonda. En continentes de mayor tamaño, donde la población por m² es mucho menor es difícil poder realmente incentivar este tipo de transporte, dado que las largas distancias llevan a que los ciudadanos prefieran utilizar los aviones.

A pesar de esto, sí hay un sector de las distintas economías donde el uso de trenes supera (en términos de eficiencia económica y ambiental) al sistema de transporte de carga que se utiliza normalmente, los camiones. Sin embargo, no es clara que esta ventaja de los trenes se pueda aplicar a todo el ámbito de transporte de carga. En primer lugar, por una cuestión lógica, los trenes no pueden alcanzar todos los destinos finales de los productos. Las líneas férreas, requieren un cierto mantenimiento que si no se provee se pierde la conexión con el otro distrito. El

impacto de la falta de manutención de las vías termina siendo mucho mayor a la falta de manutención de las rutas. En muchos países del mundo hay una puja constante entre el sector camionero y el sector ferroviario, donde dependiendo el año gana uno u otro. En segundo lugar, está el tema del caudal de elementos a transportar. Incluso si todas las ciudades estuviesen bien conectadas, la cantidad de carga que se necesita mover haría colapsar el sistema ferroviario, necesitando finalmente utilizar camiones para dicha tarea.

Reducir la cantidad de energía requerida

Otra manera de reducir la cantidad de dióxido de carbono emitida es logrando una mayor eficiencia en el consumo de combustibles. Probablemente este método y el detallado en la siguiente subsección, sean los dos más empujados en el mundo del transporte de hoy. Esto se debe a que esta medida ayuda no solo permite una menor emisión, sino que también ayuda a reducir los costos de transporte de todo tipo de productos y pasajeros.

Sin embargo, esta medida tiene varios costos aparejados, que son los de investigación. Para incentivar a que las compañías inviertan en tal, en EE. UU. se establecen metas de estándares de galones por tonelada que deben alcanzar los vehículos a medida que avanzan los años. Por ejemplo, para el año 2020 los fabricantes de vehículos ligeros y camiones ligeros (3850 kg) deben tener una eficiencia de 14,8 kilómetros por litro (EISA, 2007). Esta eficiencia trae aparejada una consecuencia que en muchos casos no es deseable para los consumidores, que es una reducción de en la performance de aceleración. Además de una mejora proveniente de las compañías, el gobierno de EE UU financia varios programas de investigación con ser el “Programa para una nueva generación de vehículos”.

Sumado a este tipo de medidas existen algunas de menor impacto que dependen principalmente del comportamiento de los usuarios de los vehículos. Algunas de estas son mantener las gomas propiamente infladas, reducir el tiempo muerto con el auto en funcionamiento y reducir el peso extra en los baúles. Estas medidas a nivel individual tienen un impacto mínimo pero si toda la población se suma a la misma puede que tenga una consecuencia mayor (Diertz et al., 2009).

Reducir las emisiones asociadas a cada nivel de energía

Por último, otra estrategia para reducir la emisión de dióxido de carbono es reducir las emisiones asociadas al uso de cada unidad de energía utilizada en el transporte. Esto se logra básicamente cambiando el desarrollo y el sistema de los vehículos para que funcionen con electricidad o algún otro combustible líquido o gaseoso no basado en petróleo, como se los biocombustibles o hidrógeno.

Tecnología del motor	Período de Tiempo		
	2003 - 2015	2015 - 2030	2030 - 2050
<u>Encendido con chispa</u>			
Gasolina MCI	130 - 234	122 - 219	114 - 204
Etanol MCI	120 - 215	112 - 200	103 - 185
Vehículo de combustible flexible MCI	133 - 239	125 - 224	116 - 209
Híbrido ligero, gasolina MCI	119 - 214	111 - 199	103 - 185
Híbrido medio, gasolina MCI	108 - 194	99 - 178	94 - 168
Híbrido full, gasolina MCI	99 - 178	94 - 169	89 - 160
<u>Encendido con compresión</u>			
Diésel MCI	108 - 193	105 - 188	102 - 183
Híbrido ligero, diésel MCI	96 - 173	94 - 168	91 - 163
Híbrido medio, diésel MCI	87 - 155	83 - 149	80 - 143
Híbrido full, diésel MCI	83 - 148	80 - 143	77 - 138

Tabla 7 | Emisiones de CO₂ para autos medianos de pasajeros usando diferentes tecnologías de motor (g/km). Estas estimaciones asumen que aproximadamente la mitad de las potenciales mejoras gracias a al avance de la tecnología mejorará el sector económico de combustibles. Estas estimaciones también asumen que las optimizaciones se darán entre 2010 y 2050, y que habrá una producción a gran escala de tales vehículos. MCI = Motor de Combustión Interna. Extraído de TRBNRC (2008).

Estos análisis que muestran la ventaja de usar otras formas de generar energía se basan principalmente en la cantidad de gases que emiten los caños de escape. Si bien es cierto que los “nuevos” combustibles emiten menos, hay algo a tener en cuenta que es, la forma en que se producen estos combustibles. En algunas circunstancias la producción, el transporte y la forma de conservar el producto, para que sea utilizado por el común de la gente, termina siendo mucho más costoso en términos climáticos. Por ejemplo, algunos biocombustibles como etanol basado en maíz no proveen una reducción en los gases de efecto invernadero (Campbell et al., 2009).

El otro lado negativo del etanol es que, al no estar tan desarrollada la producción de dichos combustibles, la obtención del mismo se vuelve muy costoso. Estas mismas preocupaciones fueron levantadas también por los autos que funcionan con baterías o hidrógeno, en especial si la carga de las baterías proviene de procesos que emiten mucho más CO₂.

Basura

Vertederos

La técnica más utilizada desde las primeras conformaciones de las sociedades es la creación de vertederos donde depositar la basura de la comunidad. En muchos casos los mismos poseen “pozos ciegos” donde la basura es enterrada para una mayor descomposición. A medida que las sociedades iban creciendo y los productos

industriales iban teniendo un mayor lugar en el consumo diario, tanto de individuos como de las empresas, estos vertederos empezaron a acumular muchos desechos y gran parte de ellos precisaban muchos años para descomponerse.

País/región	Metano emitido	Metano recolectado	Crédito pequeña escala CHP	Neto
	1000 tCO ₂ eq/año			
Estados Unidos	80.075	79.677	-9.613	70.462
Canadá	20.749	13.787	-879	19.870
México	26.909	6.719	-682	26.227
Chile	5.921	1.478	-145	5.776
"América" Total	133.654	101.661	-11.319	122.335
UE (OCDE)	59.712	31.535	-2.921	56.791
Suiza	-	-	-	-
Noruega	24	12	-1	23
Islandia	24	13	-1	23
Turquía	21.997	5.492	-569	21.428
Israel	3.878	2.083	-240	3.638
"Europa, Turquía e Israel" Total	85.634	39.136	-3.731	81.903
Australia	8.973	472	-71	8.902
Nueva Zelanda	1.411	937	-101	1.310
Japón	774	0	-	-
Corea del Sur	2.261	1.214	-125	2.136
"Japón, Corea del Sur y Pacífico" Total	13.419	2.624	-297	13.122
Total	232.707	143.420	-15.347	217.360

Tabla 8 | Metano emitido y recolectado, y crédito de gases de efectos invernadero por CHP pequeña escala, por distintos países y sectores. Extraído de Vogt et al. (2015).

La emisión generada por los vertederos es muy grande. En la tabla 8 se puede apreciar en toneladas de CO₂ emitido por cada uno de los países de la OCDE. En total la OCDE genera alrededor de 230.000 toneladas de CO₂, de las cuales casi 90.000 van directamente a la atmósfera. Los 140.000 restantes son gases recolectados donde una pequeña proporción es utilizada para calentamiento y energía (de aquí sale el crédito que observamos en la tercera columna). Esta emisión es la que se apunta a eliminar con las otras técnicas de manejo de basura.

Las acciones que se pueden tomar para mejorar los sistemas de recolección y tratamiento de basura son variadas.

Reciclado

Una de las primeras acciones que se empezaron a tomar en muchísimos países fue la separación de basura, en hogares y empresas, entre lo reciclable y lo no reciclable. El proceso para el buen funcionamiento de esta medida requiere una

coordinación entre el sector público y el sector privado (doméstico o no). El primero debe proveer en primer lugar un sistema de recolección óptimo. En economías desarrolladas este punto está salvado en la mayoría de los casos. Sin embargo, en países emergentes y en vías de desarrollo la falta de recolección de basura genera un gran problema, no solo por supuesto en el calentamiento global sino en la salud de los ciudadanos. En segundo lugar, el sistema provisto debe permitir que haya un destino distinto según la basura que está recolectando, principalmente porque el tratamiento que recibirá será distinto. En cuanto al sector privado su principal tarea es realizar la separación de basura como corresponda en cada caso. Para que esto suceda existen diferentes maneras, se necesita un proceso educativo, incentivos e incluso obligaciones por parte del gobierno (en especial para las industrias).

La investigación hecha por Vogt et al (2015) muestra la reducción de emisiones logradas por la recolección de basura según la separación correspondiente.

Basura o fracción de clasificación	Débito	Crédito	Neto
	KgCO ₂ eq/tonelada basura por instalación de clasificación o entrada a planta de reciclaje		
Metales Férricos	338	-1.284	-945
Metales no Férricos	406	-9.713	-9.307
Papel y Cartón	167	-960	-793
Vidrio	0	-514	-514
Textiles	32	-2.850	-2.818
Plásticos		Procedimiento especial	

Tabla 9 | Factores de emisión para reciclables secos. Extraído de Vogt et al. (2015)

Tal y como se muestra en la tabla 9, una buena separación de basura tiene un impacto muy grande en la emisión de CO₂. Poder separar los metales (en especial los no férricos) y mandarlos a las plantas de aluminio y metales (o bien para pirolisis) es uno de los mayores impactos frente a tenerlos en vertederos, reduciendo 9.300 kg de CO₂ por cada tonelada de basura. En segundo lugar, se encuentran los textiles donde el proceso de reciclado genera una emisión casi nula permitiendo reducir la emisión en 2.800 kg por tonelada procesada.

Compost

En el proceso de separación de basura, dentro de la basura no reciclable tenemos los desechos orgánicos o verdes. Éstos pueden ser utilizados en un proceso de compostaje.

El compostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica, a partir de la acción de bacterias, hongos y gusanos, para obtener compost, un abono natural.

La utilización de este abono varía mucho, pero sus principales usos son para agricultura, jardinería y recuperación de suelos.

Emisiones kgCO₂eq/tonelada compost

Compost terminado de basura verde	Débito	45
	Crédito	291
Compost terminado de basura orgánica	Débito	54
	Crédito	328

Tabla 10 | Factores de emisión promedio en la aplicación de compost según IFEU (2012). Extraído de Vogt et al. (2015).

La tabla 10 muestra las ventajas que tiene realizar esta técnica, evitando la emisión de alrededor de 300 kg (dependiendo si es verde u orgánico) por cada tonelada de compost generada. Lo interesante de esta técnica es que no sólo puede realizarse a nivel industrial sino también a nivel doméstico.

Incineración

Una tercera manera de tratar la basura es la incineración. Si bien la emisión de CO₂ con esta técnica es menor a la producida en vertederos, se genera una cantidad considerable de dióxido de carbono que podría ser contrarrestada. La manera de hacer esto utilizar la energía producida durante el proceso.

	Incineración sin Energía			Incineración con Energía		
	Débito	Crédito	Neto	Débito	Crédito	Neto
	KgCO ₂ eq/tonelada basura					
Estados Unidos	-	-	-	393	-417	-25
Canadá	356	0	356	356	-338	18
México	-	-	-	-	-	-
Chile	356	0	356	356	-430	-74
UE-OCDE	357	0	357	357	-431	-74
Suiza	-	-	-	357	-287	71
Noruega	-	-	-	357	-288	70
Islandia	357	0	357	357	-288	70
Turquía	-	-	-	-	-	-
Israel	-	-	-	-	-	-
Australia	-	-	-	370	-545	-176
Nueva Zelanda	-	-	-	-	-	-
Japón	370	0	370	370	-242	-55
Corea del Sur	370	0	370	370	-242	-55

Tabla 11 | Débitos y créditos en gases de efecto invernadero a causa de incineración. Extraído de Vogt et al. (2015).

Si bien esta técnica tiene una ventaja inferior frente a las dos anteriores, la tabla 11 muestra la gran diferencia entre aprovechar la energía liberada o no. En algunos países como Estado Unidos, Chile, Australia, Japón y Corea del Sur la emisión es

contrarrestada en su totalidad incluso con un beneficio adicional de menor emisión debido a una menor producción de energía por otros medios.

Desarrollo de la comunidad

Existe también otro tipo de medidas de para reducir las emisiones de CO₂ que se enfoca en las relaciones del ser humano y la naturaleza. Cuantas veces habremos escuchado decir que los parques son los pulmones de las ciudades. Y esto es verdad porque los árboles son uno de los principales encargados de transformar el dióxido de carbono en oxígeno. Cada vez se pone más foco en este tema porque trae aparejadas ciertas mejoras estéticas de paisajes, actividades recreativas al aire libre, reducción de ruido y, más importante de todos, el enfriamiento.

Bajo la misma línea otro aspecto de interés es la deforestación. Este tema tiene dos lados. Por un lado, en muchas ocasiones es necesario la creación de nuevos espacios para el desarrollo humano, tanto en el desarrollo de nuevas comunidades como de nuevas fábricas. Por otro lado, la tala de árboles afecta negativamente el medio ambiente aumentando la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera y reduciendo el oxígeno que necesitamos para vivir.

Espacios Verdes

La preocupación por la polución que emanan las ciudades más grandes va en aumento. En muchas de ellas más que una preocupación es un problema. Ciudades como Nueva Delhi, Moscú o Beijing están entre las peores ciudades, en términos de pureza del aire. El término smog es muy amplio, ya que puede producirse por muchas razones (no solo emisión de dióxido de carbono). Es por eso que las soluciones son muy variadas. En Beijing desde el 2004 viene dándose por ejemplo un plan de creación de espacios verdes, donde se planea llegar para este año 2020 tener 50 m², 36m² y 15m² per cápita de espacio verde para los 3 anillos detallados en el Planeamiento de espacios verdes en Beijing (Feng et al., 2018).

Las estimaciones sobre la cantidad de CO₂ que impiden los árboles que se escape a la atmósfera son limitadas. Las dependencias son muchas, entre ellas el tipo de árbol que se está plantando, dado que el mecanismo de fotosíntesis es distinto y la esperanza de vida de cada uno también. Esto último punto no debe pasarse por alto, porque una esperanza baja de vida no solo implica plantar un nuevo árbol cuyo trabajo implica más emisión, sino que cuando el árbol empieza a descomponerse emite el CO₂ acumulado.

Crecimiento del árbol	Proyecto			Escenario a			Escenario b			Escenario c	Escenario d
	Mortalidad del árbol										
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta		
Mínima	118	99	29	121	94	23	85	67	14	-2,52	-6,54
Media	162	137	43	166	129	33	117	92	22		
Máxima	218	184	61	223	175	47	158	125	33		

Tabla 12 | Cantidad estimada de dióxido de carbono reducida (neto de emisiones) después de 50 años en $\text{MgCO}_2/\text{ha}^{-1}$ por el proyecto de espacios verdes. Con un escenario de alta densidad de sembrado (a) y uno con baja densidad (b). Los resultados son provistos por en diferentes ratios de crecimiento (estimaciones de Strohbach et al. (2012), bajo = $0,5\% \text{ a}^{-1}$, medio = $0,1\% \text{ a}^{-1}$, alto = $4\% \text{ a}^{-1}$). Los escenarios (c) y (d) representan cero sembrados, simplemente cortar el pasto con baja y alta frecuencia. Extraído de Strohbach et al. (2012).

En la tabla 12 se puede observar estimaciones sobre cuál es el efecto del proyecto de creación de espacios verdes en Leipzig, Alemania. Claramente las estimaciones son muy variadas y tienen una alta dependencia en el crecimiento y mortalidad de los árboles. Según lo planeado en el proyecto, con alta tasa de crecimiento y una baja mortalidad de los árboles se pueden reducir en 50 años $218\text{MgCO}_2/\text{a}^{-1}$ mientras que, en el otro extremo, es decir con baja tasa de crecimiento y una alta tasa de mortalidad, la estimación se achica a $29\text{MgCO}_2/\text{a}^{-1}$.

Hay algo más que debe tenerse en cuenta en este tipo de proyectos, y es el área posible de sembrado de árboles. Existen partes de las ciudades en las que sembrar árboles se dificultaría dada la inmensa cantidad de edificios existentes (sean residenciales o no). En algunas zonas incluso, las calles son muy angostas y es muy difícil sembrar un árbol. En la tabla ... están los resultados de las estimaciones hechas para la ciudad de Sejong (Corea del Sur). Esta ciudad está apuntando a “Sejong CO_2 -Neutral” con un plan de construcción espacios verdes, sembrado de árboles y otros aspectos relacionados a energía renovable. Este plan consiste (en parte), tener en cuenta las capacidades de construcción y sembrado de árboles en cada una de las áreas de la ciudad, aprovechando al máximo las áreas que rodea a la ciudad. Los resultados arrojan que 64.35% del total de reducción de CO_2 estimado proviene de las áreas periféricas (tabla 13). Esto quiere decir que los bosques que rodean a la ciudad no solo son “anillos verdes” para evitar expansiones descontroladas, sino también como eliminadores de CO_2 contra las emisiones de la ciudad (Lee et al., 2012).

División	Reducción de CO_2 anual
Áreas de parques	17.539 $\text{tCO}_2/\text{año}$
Áreas Parques al lado de ríos	98 $\text{tCO}_2/\text{año}$
Áreas de edificios públicos	1.249 $\text{tCO}_2/\text{año}$
Áreas de edificios privados	5.505 $\text{tCO}_2/\text{año}$
Áreas periféricas	44.025 $\text{tCO}_2/\text{año}$

Total 68.416 tCO₂/año

Tabla 13 | Cantidad estimada de dióxido de carbono reducida por área de la ciudad de Sejong (Corea del Sur).
Extraído de Lee et al. (2012).

Deforestación

Cubriendo alrededor de un tercio de toda la parte terrenal del planeta, los bosques juegan un papel esencial en el ciclo de vida del carbón y contiene una proporción sustancial de la biodiversidad terrestre. Según estimaciones recientes, las emisiones de CO₂ por deforestación y degradación de bosques es aproximadamente 4,4 Gigatonnes de dióxido de carbono (Siikamäki et al., 2012). Esto representa alrededor del 12% del total de emisiones provenientes del ser humano (van der Werf et al., 2009).

La reducción de emisiones de CO₂ proveniente de la deforestación y de la degradación de bosques, y la promoción de creación de bosques en países en desarrollo (REDD+) es uno de los caminos para el evitar el cambio climático. Sin embargo, no en todos los países se obtendrá el mismo impacto de las políticas asociadas. Esto se debe a la distribución de bosques que hay en nuestro planeta y, atado a esto, el nivel actual de deforestación que hay en cada uno.

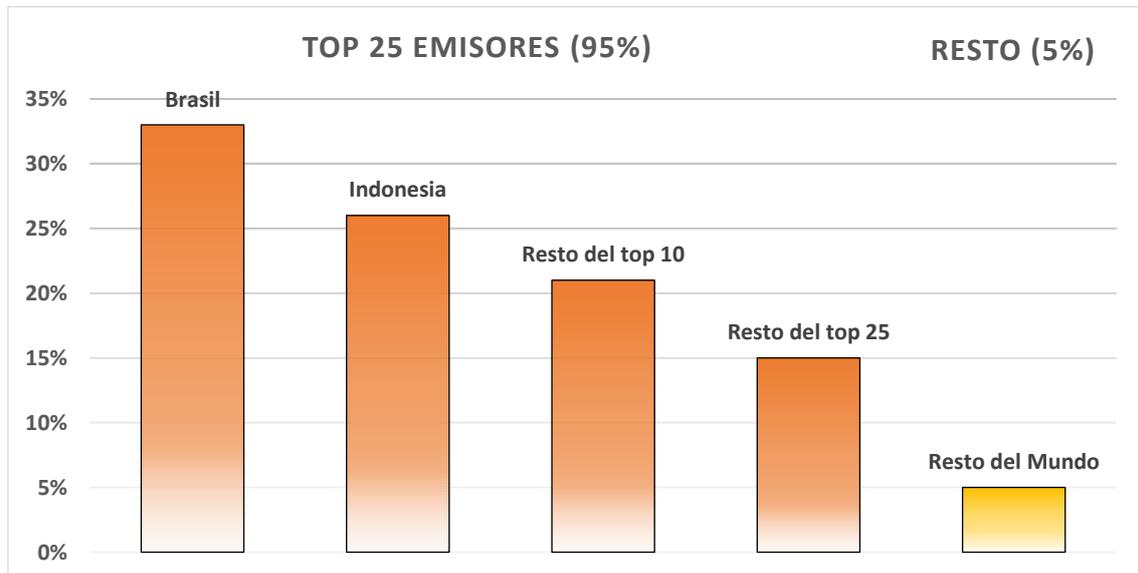


Gráfico 7 | Distribución de emisiones de CO₂ del top 25 que más emite. Extraído de: CBO (2012).

Casi el 60% de las emisiones asociadas a la deforestación están distribuidas entre Brasil e Indonesia (33% y 26% respectivamente), ver gráfico 7. Es por esto, que es clave que estos dos países tomen medidas fuertes. Acompañados a ellos deben ir el resto del top 25 de los mayores emisores, que representan aproximadamente un 36% de las emisiones totales a nivel global (CBO, 2012).

A pesar de que las emisiones estén concentradas en un cierto grupo de países y sean ellos los que deben tomar las decisiones, la realidad es que los beneficios de tales políticas son para todos los países del mundo. Por este motivo, debe haber un trabajo colectivo entre todos para asistir a los países que más impacto pueden tener. Las acciones que se pueden tomar con respecto a esto son dos principalmente: proveer asistencia financiera y técnica a gobiernos interesados en preservar los bosques, y la creación de una demanda en mercados privados para la reducción de CO₂ provenientes de la deforestación (por ejemplo, reducción de impuestos a aquellas que promuevan actividades para la preservación de bosques) (CBO, 2012).

3 Datos

A medida que fueron pasando los años la preocupación por el efecto invernadero fue en aumento. Cada vez fueron más las presiones tanto sociales como de entidades no-gubernamentales para que distintos países empiecen a tomar políticas que puedan mejorar el futuro de nuestro planeta.

En el 2002 se creó en el Reino Unido una organización sin fines de lucro llamado “Programa de Divulgación de Carbono” (o Carbon Disclosure Program - CDP) con el único objetivo de divulgar el impacto ambiental que tienen ciertas compañías y ciudades alrededor del mundo, sirviendo como consultores para ayudarlos a reducir la emisión de los principales gases que provocan el efecto invernadero. A lo largo de los años se fueron sumando al programa distintos agentes, llegando a un total de más de 6.000 compañías y 550 ciudades.

No voy a profundizar más sobre el trabajo que se hizo en las 6000 compañías sino más bien en las ciudades participantes. Desde el año 2012 distintas ciudades empezaron a reportar todas las acciones específicas que tomaban cada año. El reporte es tal que cada año deben separar en los distintos sectores a los que afecta cada acción, teniendo un espacio para explicar brevemente de qué se trata la medida.

Año	Edificios	Demanda de energía en edificios	Suministro de Energía	Iluminación Externa	Energía
2012	0	42	0	11	43
2013	0	58	37	17	58
2014	0	79	0	38	90
2015	96	0	63	40	110
2016	174	0	95	85	204
2017	239	0	125	110	274

Tabla 14 | Cantidad de ciudades por año realizando al menos una política en cada concepto de energía. El total refleja la cantidad de ciudades por año realizando al menos una acción con enfoque en energía. Fuente: CDP (2019).

Año	Desarrollo de la Comunidad	Uso de Terreno Urbano	Basura	Agua	Finanzas	Finanzas y Desarrollo Económico	Temas Urbanos
2012	0	25	33	14	9	0	38
2013	0	36	43	15	12	0	47
2014	0	52	56	19	15	0	67
2015	59	0	80	42	0	35	95
2016	130	0	152	63	0	59	201
2017	173	0	194	87	0	69	262

Tabla 15 | Cantidad de ciudades por año realizando al menos una política en cada concepto de temas urbanos. El total refleja la cantidad de ciudades por año realizando al menos una acción con enfoque en temas urbanos. Fuente: CDP (2019).

Año	Transporte	Tránsito Masivo	Transporte Privado	Transporte
2012	38	0	0	38
2013	55	0	0	55
2014	86	0	0	86
2015	0	78	87	108
2016	0	126	170	203
2017	0	147	210	245

Tabla 16 | Cantidad de ciudades por año realizando al menos una política en cada concepto de transporte. El total refleja la cantidad de ciudades por año realizando al menos una acción con enfoque en transporte. Fuente: CDP (2019).

Año	Educación	Contratación Pública	Alimentos	Alimentos y Agricultura	Otros	Otros
2012	20	6	4	0	16	36
2013	23	7	10	0	25	48
2014	30	13	9	0	71	99
2015	0	0	0	32	0	32
2016	0	0	0	54	23	76
2017	0	0	0	71	31	96

Tabla 17 | Cantidad de ciudades por año realizando al menos una política en otros conceptos que no sean los agrupados en Energía, Temas Urbanos o Transporte. El total refleja la cantidad de ciudades por año realizando al menos una acción con enfoque en algo de estos otros conceptos. Fuente: CDP (2019).

Si bien son 550 ciudades las que participan del programa no todos terminan reportando las acciones que están tomando. Sin embargo, a medida que pasan los años cada vez más ciudades se suman a la iniciativa y más datos se publican. Como dije anteriormente las acciones se agrupan en distintos “Sectores”. Los mismos sufrieron en 2015 un cambio de definición y es por eso que vemos un corte en algunos sectores y un nacimiento de otros en tal año.

En las tablas 14 a 17, se puede observar la cantidad de ciudades que realizaron al menos una política en cada concepto. Si bien las acciones son de todo tipo podemos llegar a separarlas en 4 grupos. Los valores que vemos allí son las cantidades de ciudades que tomaron al menos una acción de ese tipo. En el primero entran todos aquellos que están relacionados con la energía. Éstos se dividen en 3 principalmente: consumo de energía, producción de energía y cambio de tecnología en iluminación pública (el concepto “Edificios”, comprende pautas en el consumo de energía). El segundo grupo hace referencia a todas aquellas medidas que mejoran el transporte tanto público como privado. En el tercer grupo el concepto es un poco más amplio. Estas políticas las caratulé como “temas urbanos”, que consisten en cambios en la sociedad. Se divide en 4: generación de espacios verdes, estándares de construcción de edificios y agricultura urbana son algunos conceptos que engloba primer concepto, recolección de basura y plantas de reciclado el segundo, reducción de consumo de agua y reciclado el tercero, y finalmente financiamiento y subsidios para proyectos

“verdes”. El último grupo abarca todas aquellas políticas que no se pueden encasillar en los otros grupos.

Por el lado de las acciones, tenemos información bastante completa a lo largo de los años. Pero además de las acciones que están tomando las ciudades deben informar cuánto fue la emisión de CO₂ que tuvieron en estos 6 años de análisis. Es aquí donde la información empieza a ser más acotada.

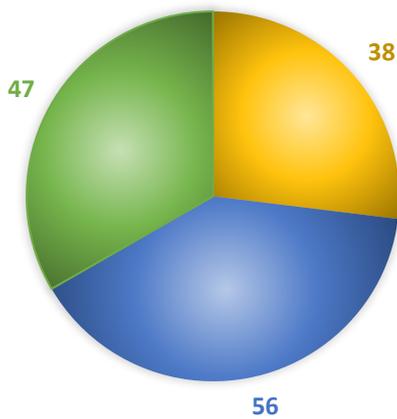
Año	Emisiones	Emisiones y Acciones	Emisiones y Acciones más de 1 año
2012	59	24	20
2013	71	24	18
2014	89	37	29
2015	107	41	25
2016	102	69	32
2017	48	39	17

Tabla 18 | Cantidad de ciudades con información sobre las emisiones anuales y las acciones realizadas en cada año. Fuente: CDP (2019).

59 ciudades informaron sus emisiones en 2012, 71 en 2013, 89 en 2014, 107 en 2015, 102 en 2016 y 48 en 2017. Cuando realizo el cruce entre aquellas ciudades que reportaron sus emisiones y las acciones que están tomando pierdo más de la mitad de las observaciones. Pero esta información no es suficiente, ya que para ver cambios en las emisiones necesito al menos 2 observaciones por cada ciudad. Es así como finalmente me quedo con 48 ciudades, con un total de 141 observaciones.

A la hora de tomar políticas para mejorar el medio ambiente, el abanico de posibilidades es muy amplio como veíamos anteriormente. Teniendo en cuenta esto, los datos nos muestran que las ciudades fueron tomando a lo largo de los años distintos tipos de acciones. Los movimientos son de todo tipo, algunas ciudades mantuvieron sus políticas por años, otras fueron cambiando el enfoque y otras fueron sumando nuevas a las ya existentes. Sin importar qué decisión toma cada una, algo que es común a casi todas es que las acciones no son todas de la misma tipología.

Como no podía comparar ciudades que hagan 100% acciones de un solo tipo, tuve que establecer distintos grupos a analizar, donde una tipología sea predominante frente a las otras. Para ello utilicé k-means. Sabiendo que todas estas acciones están demostradas que reducen la emisión, los grupos no pueden estar influenciados por la cantidad de acciones que realiza cada ciudad. Es por ello que establezco las proporciones de acciones que realiza cada uno en cada grupo de acciones.



Grupo	Energía	Temas Urbanos	Tránsito	Otros
1	19%	13%	46%	21%
2	24%	45%	24%	8%
3	58%	18%	18%	6%

Gráfico 8 | Cantidad de observaciones en cada grupo formado por k-means (izquierda). Fuente: CDP (2019).

Tabla 19 | Porcentaje de acciones promedio en cada grupo (derecha). Fuente: CDP (2019).

De mis 141 observaciones, formé tres grupos donde las políticas asociadas al transporte son las que más pesan en el grupo uno, los temas urbanos en el grupo dos y energía en el grupo tres. Como se puede apreciar en la tabla 19 en el primer grupo la tipología de “temas urbanos”, no es fuertemente predominante, como sucede en los demás grupos. Esto se debe claramente a que las políticas relacionadas a dicha tipología, fueron acompañadas en casi todas las ciudades por medidas de energía y tránsito, dificultando así poder separar estas acciones del resto.

4 Modelo

En esta sección voy a demostrar que medidas que se toman para mejorar todo lo relacionado a energía son menos efectivas para reducir la emisión de CO₂ que el resto de las medidas. Para hacer esto entonces, tomo todas observaciones que tengo y hago foco en como son las relaciones entre los tres clústers creados previamente y el logaritmo de las emisiones de dióxido de carbono, trabajando así con efectos relativos y no absolutos. Estableceré como base el clúster número tres que engloba aquellas observaciones donde las acciones relacionadas a energía fueron las principales medidas para esa ciudad en ese año. Por lo que los valores de los coeficientes asociados a los clústers uno y dos permitirán concluir (siempre y cuando sean significativos) qué tipo de medidas fueron más eficientes. En la tabla 20 arrojo los resultados de distintos modelos, a fin de mostrar cómo es que voy a aproximándome al resultado final.

	MCO	MCGF	EF Two-ways	EF One-way	EF Robusto One-way
Clúster 1	<i>No</i> <i>Significativo</i>	-0,43*** (0,18)	-0,14** (0,05)	-0,14*** (0,05)	-0,14*** (0,03)
Clúster 2	<i>No</i> <i>Significativo</i>	<i>No</i> <i>Significativo</i>	<i>No</i> <i>Significativo</i>	-0,07* (0,04)	-0,07*** (0,01)
Log(Población)		0,74*** (0,04)	<i>No</i> <i>Significativo</i>	<i>No</i> <i>Significativo</i>	No Significativo
Intercepto	16,10*** (0,17)	5,69*** (0,58)			
N° de obs.	141	141	82	82	82

*** El valor es significativo con un nivel de confianza de 0,01

** El valor es significativo con un nivel de confianza de 0,05

* El valor es significativo con un nivel de confianza de 0,1

Tabla 20 | Valores de los coeficientes que acompañan a las variables independientes: (pertenece a) Clúster 1, (pertenece a) Clúster 2 y logaritmo de la población. Entre paréntesis se muestra el error estándar. El primer modelo es Mínimos Cuadrados Ordinarios, el segundo modelo es Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles, el tercer modelo es Efectos Fijos a través del tiempo y de las ciudades, el cuarto modelo es Efectos fijos sólo a través de las ciudades y el último es el resultado de Efectos Fijos a través de las ciudades con una estimación robusta (Driscoll & Kraay, 1998) de la matriz de varianzas y covarianzas.

En primera instancia observo los resultados de un modelo simple usando mínimos cuadrados ordinarios sin variables de control. Si bien los valores de estos estimadores podrían indicarme que existen ciertas diferencias en los efectos provocados por las diferentes medidas no podría concluirlo fehacientemente, dado que, imponiendo un nivel de confianza de 10%, ninguno de los valores expresados allí es significativo.

Pero la realidad es, si observamos cada una de estas medidas, todas tienen algo en común. Las medidas de energía quieren cambiar la manera en que las personas

consumen energía, o la manera en que se las proveen. Las medidas de tránsito quieren transformar el medio por el cual los ciudadanos se transportan de un lado a otro. Finalmente, los temas urbanos pretenden transformar el día a día de todos los individuos. Entonces vemos que el tamaño de la población es una de las principales dependencias que tiene la emisión de dióxido de carbono.

Por lo tanto, para poder sacar conclusiones más robustas debo controlar por población. No es lo mismo querer transformar una ciudad como Nueva York que tiene 8.5 Millones de habitantes, a una ciudad como Copenhague con 600.000 habitantes.

$$\text{Log}(Emisiones_{it}) = 5,69 - 0,43 * Clúster_{1it} + 0,76 * \text{Log}(Población_{it}) + u_{it}^1$$

La relación de población y las emisiones de CO₂, fue analizado en muchas ocasiones. En Fragkias et al. (2013) analiza la relación entre éstos dos utilizando ciudades de Estados Unidos desde 1998 hasta 2008. El objetivo de su investigación es, siendo que la población urbana va a crecer entre 2 y 3 miles de millones para el fin del siglo 21, entender como el tamaño de la población afecta las emisiones puede arrojar una idea de cómo el tamaño de las ciudades pueden ser parte de una estrategia regional o nacional para reducir emisiones. La relación encontrada entre ambas para las distintas ciudades de Estados Unidos en la década mencionada, gira en torno al valor 0.93 utilizando el enfoque de mínimos cuadrados generalizados factibles. Bajo el mismo el enfoque en la tabla 20, podemos ver que la relación es menor, de 0,74, para ciudades de distintas ciudades del mundo entre los años 2012 y 2017. Las razones de tales diferencias pueden ser múltiples, pero exceden al objetivo de este trabajo.

Avanzando sobre el interés propio de este trabajo, se puede apreciar que, controlando por población, las medidas que apuntan a mejorar el transporte presentan una significativa diferencia frente a las de energía. Es decir, aquellas ciudades que han ponderado estas acciones frente a las otras, lograron reducir un 39% más la emisión de CO₂ que aquellas que lo hicieron con energía. Con respecto a aquellas que priorizan las acciones de temas urbanos sigue sin ser significativo el coeficiente, por lo que podríamos decir que no hay significativas diferencias con las acciones relacionadas a energía.

Sin embargo, siguiendo la misma línea anterior, no sólo es por la población que no puedo comparar directamente la ciudad de Nueva York con Copenhague (por ejemplo). Las sociedades que forman cada ciudad tienen sus propios movimientos, sus propias maneras de tomar decisiones, sus culturas y sus formas de pensar. Todo esto impacta de distinta manera en la economía y en el desarrollo de dicha sociedad. Es por eso que existen ciertos efectos que son particulares de cada ciudad. Para ver en más

¹ No se muestran los resultados de las variables no significativas.

detalle la relación entre estos determinantes propios y los efectos en la polución, leer Hilber et al. (2014).

En este contexto entonces tenemos que el error u se separa de la siguiente manera:

$$u_{it} = \alpha_i + \delta_t + v_{it}$$

Donde:

α_i : efecto no observable invariante en el tiempo

δ_t : efecto no observable invariante por cada ciudad

Dado que α y δ son no-observables, no podemos establecerlos como variables de control. Bajo efectos fijos en el tiempo y en las ciudades, nos deshacemos de estos efectos, con la transformación "dentro de" ("within").

$$\dot{y}_{it} = y_{it} - \bar{y}_i - \bar{y}_t - \bar{y}\dot{x}_{it} = x_{it} - \bar{x}_i - x_t - \bar{x}\dot{u}_{it} = u_{it} - \bar{u}_i - \bar{u}_t - \bar{u}$$

Siendo

y : *Log(Emisiones)*

x : *Clúster₁ || Clúster₂ || Log(Población)²*

u : *Error*

Continuando y para tener en cuenta esto, avanzo estimando un modelo que tiene en cuenta estos efectos fijos, controlando por supuesto por población.

$$\text{Log}(Emisiones_{it}) = -0,14 * Clúster_{1it} + \ddot{u}_{it}^3$$

Teniendo en cuenta los efectos fijos de cada ciudad, se puede apreciar que las acciones que ayudan a mejorar el tránsito no son tan fuertes como mencionaba anteriormente, aunque siguen teniendo un mejor resultado que las de energía. No obstante, las acciones que engloban los temas urbanos siguen sin tener una gran diferencia a las de energía.

El siguiente paso es realizar algunos test para asegurarnos de que estos efectos son significativos.

Efectos

² Esta transformación implica que todas aquellas ciudades cuyo foco no haya cambiado en los 6 años de análisis serán descartadas. El resultado de utilizar este modelo mostrará los efectos de haber cambiado las políticas teniendo en cuenta las particularidades propias de cada ciudad.

³No se muestran los resultados de las variables no significativas.

	Ciudades y Tiempo	Ciudades	Tiempo
<i>P-value</i>	0	0	0,2208

Tabla 21 | Resultados de los test de multiplicadores de Lagrange para paneles desbalanceados (Baltagi & Li, 1990) que permiten identificar si hay efectos fijos a través de las ciudades y/o el tiempo,

Viendo los resultados de estos test, vemos que no existen efectos fijos a través del tiempo, es decir que $\delta_t = 0$. Por lo que la transformación “dentro de” será:

$$\ddot{y}_{it} = y_{it} - \bar{y}_i \ddot{x}_{it} = x_{it} - \bar{x}_i \ddot{u}_{it} = u_{it} - \bar{u}_i$$

Con esto, corrijo los resultados anteriores.

$$\text{Log}(Emisiones_{it}) = -0,14 * Cl\ddot{u}ster_{1it} - 0,07 * Cl\ddot{u}ster_{2it} + \ddot{u}_{it}^4$$

El principal cambio que se puede ver con respecto al anterior es que aquellas ciudades que enfocaron sus acciones en temas urbanos tienen un impacto mayor frente a las de energía (con un nivel de confianza de 10%), aunque la estimación no es muy precisa dado que el error estándar es de 0,04.

	Correlación Serial		Correlación Seccional			
	Breusch-Godfrey	Wooldridge	Pesaran	Breusch Pagan	Breusch Pagan scaled	Breusch Pagan bias-corrected scaled
P-val	0,00005	0,1531	0,364	0	0	0
Alt.	<i>Correlación Serial</i>	<i>Correlación Serial</i>	<i>Correlación Seccional</i>	<i>Correlación Seccional</i>	<i>Correlación Seccional</i>	<i>Correlación Seccional</i>

Tabla 22 | Resultados de distintos test que permiten identificar la correlación serial y correlación seccional.

El paso final para poder sacar mis conclusiones, es asegurarnos que no existe ni correlación serial y seccional. En la tabla 22 se pueden ver los resultados de los distintos test. En cuanto a la correlación serial según el test de Breusch-Godfrey podemos decir que existe. No obstante, Wooldridge (2010) sugiere un test que se ajusta a modelos de efectos fijos, el cual no descansa sobre un T asintótico y así tiene buenas propiedades para paneles “cortos” como este. De esta manera podemos decir que, bajo efectos fijos, no existe correlación serial. Por el lado de la correlación seccional, utilizando el test de Breusch Pagan escalado con corrección de sesgo, ver Baltagi, Feng & Kao (2012), concluyo que existe una correlación seccional.

Por lo tanto, en vista a los resultados de estos test observo los resultados utilizando una matriz de varianzas y covarianzas robusta, según Driscoll & Kraay (1998).

⁴No se muestran los resultados de las variables no significativas.

$$\text{Log}(Emisiones_{it}) = -0,14 * Clúster_{1it} - 0,07 * Clúster_{2it} + \ddot{u}_{it}^5$$

Realizando este último ajuste podemos decir con mayor confianza que aquellas ciudades, que priorizaron medidas que apuntan a mejorar el tránsito, redujeron la emisión de dióxido de carbono un 14% más que aquellas ciudades (u otros años de la misma ciudad) que prefirieron tomar medidas para mejorar la producción y consumo de energía. Otro dato interesante de este resultado es que, aquellas ciudades que tomaron acciones de temas urbanos como mejoras en la recolección de basura, creación de espacios verdes y otros, han reducido la emisión de CO₂ un 7% más frente a las anteriores y el valor estimado es más preciso que los resultados anteriores puesto que el error estándar se achica a 0,01.

Estos resultados muestran que es muy importante adonde se va a poner el foco, a la hora de decidir qué políticas tomar para combatir el cambio climático. Sin ir más lejos, incluyendo en el modelo la cantidad de acciones que toma cada ciudad en cada año, se observa que una acción extra ayuda significativamente en un 0,06% a reducir la emisión de CO₂. Es decir, lo sustancial de esto no es tanto la cantidad de acciones tomadas (que por supuesto mientras más, mejor), sino más bien el enfoque que se les da a las mismas.

⁵No se muestran los resultados de las variables no significativas.

5 Conclusiones y Debate

A lo largo de este trabajo se observó los efectos que tienen las distintas políticas implementadas para combatir el cambio climático. En la sección 2 mostré los impactos potenciales que tiene cambiar la manera de producir energía, como manejamos el problema del transporte, cómo deshacernos de la basura y las medidas propias de desarrollo de la comunidad. Si bien la idea final de cada política es la misma, la manera de realizarlo varía en cada ciudad. Esto puede ser por un tema de costos, conclusiones de investigaciones propias, porque cada ciudad tiene distintos problemas a los que hacer frente, o simplemente porque las sociedades son distintas.

La diversidad de políticas me permitió poder hacer un análisis de comparación entre ellas. A lo largo de los años las decisiones dentro de cada ciudad fueron cambiando, ya sea combatiendo las emisiones con políticas distintas o aumentando la cantidad de acciones, ya sea del mismo estilo u otro. A través del modelo diseñado, formando primero grupos con k-means para ayudarme a determinar qué observaciones tienen un enfoque parecido y utilizando una regresión de efectos fijos para aislar las características intrínsecas de cada ciudad, puedo concluir que aquellos cuyo enfoque estuvo en el transporte, creación de espacios verdes, tratamiento de basura o algún otro aspecto urbano, tuvieron un mayor efecto para reducir las emisiones de CO₂.

Las razones de este resultado pueden ser múltiples y llevar a investigaciones más profundas. En primer lugar, el consumo de energía es algo esencial en la vida cotidiana. Para poder hacer frente a las grandes demandas de la misma y al mismo tiempo reducir las emisiones de CO₂ de una manera significativa, las inversiones en la producción pueden ser demasiado costosas (como se vio en la sección 2). De tal manera que, es posible que las ciudades que fueron por este camino tarden más en ver los efectos, simplemente por el hecho de que sus inversiones aún no son suficientes para tener un efecto significativo.

Muchas decisiones que se toman en torno a transporte tienen un efecto mucho más rápido que otras decisiones. Con cambios de precios en los combustibles (por ejemplo, mayores impuestos), pueden llevar a un individuo a tomar una decisión más rápida a la hora de decidir qué transporte utilizará para ir al trabajo al día siguiente o el próximo mes. En contraparte, por ejemplo, imponer una política para los nuevos edificios, en torno a la estructura que deben tener para tener un consumo más eficiente de la energía (por ejemplo, con incentivos a la construcción de paneles solares) puede tener un efecto a muy largo plazo puesto que los edificios que actualmente existen seguirán bajo los mismos parámetros de siempre.

Existen al mismo tiempo otros aspectos que requieren un análisis más a fondo. Si bien, los efectos propios de cada ciudad se encuentran controlados, durante los distintos años fueron cambiando en distintos aspectos. Por ejemplo, en términos de riqueza muchos países tuvieron mejoras en el PBI per cápita. Aunque esto es trasladable a las ciudades, el dato de PBI per cápita por ciudad puede ayudar a entender cómo juegan estas políticas en sociedad más ricas que otras. Este concepto fue estudiado en Fragkias et al. (2013), donde se ve que un aumento de la riqueza ayuda a reducir las emisiones de CO₂.

Por otro lado, es muy importante que la sociedad tome conciencia de la situación para poder realizar un cambio significativo. Si los mismos ciudadanos no acompañan no tienen ánimos de cambiar su manera de vivir, difícilmente se tomen las mejores decisiones y más difícil aún es que sean implementadas. Un estudio de cuáles son los incentivos correctos para que los ciudadanos quieran combatir el cambio climático permite no solo entender cómo funciona cada sociedad, sino que la información sobre los problemas y mejoras se muestre de la manera más efectiva posible. Sander et al. (2015) muestran cómo funcionan psicológicamente los individuos a la hora de tomar decisiones, exponiendo distintos caminos a seguir para tomar a la hora de exponer los problemas del cambio climático. Por ejemplo, en muchas ocasiones se realizan descripciones estadísticas sobre los posibles impactos si no se toman acciones inmediatamente. Sin embargo, estas descripciones importan muy poco para la mayoría de las personas. Los seres humanos tomamos decisiones basándonos más en experiencias, propias y ajenas. Por lo tanto, los decisores de políticas deben hacer foco en mostrar experiencias personales de afectados por el cambio climático (por ejemplo, los afectados por tormentas fuertes que no son comunes u otros fenómenos climáticos como sequías en inundaciones).

Más allá de todas las investigaciones que pueden ayudar a mejorar y explicar los resultados expuestos en este trabajo, éstos últimos permiten a los decisores de políticas realizar un análisis de costo-beneficios basándose en lo que sucedió en otras ciudades o en el pasado de su propia ciudad. Si bien tomar una mayor cantidad de acciones, sin importar el enfoque, siempre llevará a una reducción de emisión de CO₂, no siempre es posible realizar muchas políticas dado que existen muchos otros problemas en cada sociedad que no están relacionados con el cambio climático y probablemente tengan una cuota grande de importancia. Con estos resultados, se puede establecer una estrategia a mediano plazo, priorizando aquellas que tengan un impacto mayor y más rápido con costos menores.

Bibliografía

ACC (America's Climate Choices). 2010. "Advancing the Science of Climate Change", *America's Climate Choices: Panel on Advancing the Science of Climate Change, Board on Atmospheric Sciences and Climate, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies, The National Academies Press, Washington, D.C.*

ADEME (Agencia de Medio Ambiente y Gestión Energética). 2007. "Emission Factors Guide", Angers, France.

BADI BALTAGI, QU FENG, CHIHWA KAO (2012). "A Lagrange Multiplier Test for Cross-Sectional Dependence in a Fixed Effects Panel Data Model", *Syracuse University*.

BALTAGI B., LI Q. (1990). "A Lagrange multiplier test for the error components model with incomplete panels", *Econometric Reviews*.

BLAABJERG F. AND MA K. (2017). "Wind Energy Systems", *Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 11, pp. 2116-2131*.

BP (BP Statistical Review of World Energy). 2011. <<http://www.bp.com/statisticalreview>>

BTS (Bureau of Transportation Statistics)/Federal Highway Administration. 2017. National Household Travel Survey (NHTS) 2017—National Data and Analysis Tool CD. Washington, DC. <<https://nhts.ornl.gov/vehicle-trips>>

CAMPBELL, J. E., D. B. LOBELL, AND C. B. FIELD (2009). "Greater transportation energy and GHG offsets from bioelectricity than ethanol", *Science* 324(5930):1055-1057.

CBO (Congressional Budget Office). 2012. "Deforestation and Greenhouse Gases", *Congress of the United States*.

CDP (Carbon Disclosure Program). 2019. Cities, states and regions data <https://www.cdp.net/en/data/>

DEN BOER E., H. VAN ESSEN, F. BROUWER, E. PASTORI, AND A. MOIZO (2011). "Potential of Modal Shift to Rail Transport", *CE Delft, Delft, Netherlands*.

DEN BOER E., M. OTTEN, AND H. VAN ESSEN (2011). "Comparison of various transport modes on an EU scale with the STREAM database", *STREAM International Freight 2011*.

DIERTZ, T., G. T. GARDNER, J. GILLIGAN, P. C. STERN, AND M. P. VANDENBERGH. 2009. "Household actions can provide a behavioral wedge to rapidly reduce US carbon emissions", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106(44):18452-18456.

DRISCOLL JC, KRAAY AC (1998). "Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data" *Review of economics and statistics*.

EISA (Energy Independence and Security Act). December 19, 2007.

EWEA (European Wind Energy Association). 2009. "Wind Energy, the Facts", Brussels, Belgium, 488 pp.

Feng Li, Paul Sutton, Hamideh Nouri (2018). "Planning Green Space for Climate Change Adaptation and Mitigation: A Review of Green Space in the Central City of Beijing", *Urban and Regional Planning*. Doi: 10.11648/j.urp.20180302.13

FRAGKIAS M, LOBO J, STRUMSKY D, SETO KC (2013). "Does Size Matter? Scaling of CO₂ Emissions and U.S. Urban Areas", *PLoS ONE*, 8(6): e64727. <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064727>>

GORDON, J.M. (ed.) (2001). "Solar Energy: The State of the Art", *ISES Position Papers, James & James*, Londres, Reino Unido.

HILBER, CHRISTIAN A. L. AND PALMER, CHARLES(2014). "Urban Development and Air Pollution: Evidence from a Global Panel of Cities", *Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper series*. <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2541385>>

HOUGHTON, R. A., HOUSE, J. I., PONGRATZ, J., VAN DER WERF, G. R., DEFRIES, R. S., HANSEN, M. C., LE QUÉRÉ, C., AND RAMANKUTTY, N. (2012). "Carbon emissions from land use and land-cover change", *Biogeosciences*, 9, 5125–5142, <<https://doi.org/10.5194/bg-9-5125-2012>>.

HU, P. S., AND T. R. REUSCHER (2005). "Summary of Travel Trends: 2001 National Household Travel Survey", *Report FHWA-PL-07-010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation*, Washington, DC.

IEA (International Energy Agency). 2012. "Fuel Economy of Road Vehicles", *Technology Roadmap*, París, Francia.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). 2017. "Wind Energy Systems", *Proceedings of the IEEE*.

IFEU (Instituto de Investigación Energética y Ambiental). 2012. “Optimierung der Verwertung organischer Abfälle”, *Federal Environment Agency*.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2011a. “Direct Solar Energy”, *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos.

IPCC (2011b). “Hydropower”, *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos.

IPCC (2011c). “Wind Energy”, *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos.

IPCC (2013). “Carbon and Other Biogeochemical Cycles”, *AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis*.

IPCC (2014a). “Energy Systems”, *AR5 Synthesis Report: Climate Change*.

IPCC (2014b). “Transport”, *AR5 Climate Change 2013: Mitigation of Climate Change*.

IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5°C* <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>

JOERI ROGELJ, GUNNAR LUDERER, ROBERT C. PIETZCKER, ELMAR KRIEGLER, MICHIEL SCHAEFFER, VOLKER KREY AND KEYWAN RIAHI (2015). “Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5 °C”, *Nature Climate Change*.

JRC (Joint Research Centre). 2013. “Emission Database for Global Atmospheric Research” (EDGAR), *European Commission*.

LEEBYEONGHO, TAESUNG-HO, SHIN SUNG-WOO, YEOYOUNGHO (2012). “Estimate of the Carbon Dioxide Uptake by the Urban Green Space for a Carbon-Neutral Sejong City in Korea”, *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*.

LONGJ. SCOTT, ERVINLAURIE H. (1998). “Using Heteroscedasticity Consistent Standard Errors in the Linear Regression Model”, *Universidad de Indiana – Bloomington IN 47405*.

NEEDS (New Energy Externalities Development for Sustainability). 2009. “Final Report and Database”, *New Energy Externalities Development for Sustainability*, Roma, Italia.

NRC (National Research Council). 2007. “Environmental Impacts of Wind-Energy Projects”, *The National Academy Press*, Washington, DC, Estados Unidos.

NTM (Network for Transport and Environment). 2011. "Environmental data for international cargo and passenger air transport: calculation methods, emission factors, mode-specific issues", *CALC 4*, Stockholm.

PARRY I. W. H., WALLS M. & HARRINGTON W. (2006). "Automobile Externalities and Policies", *Resources for the future*.

REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century). 2013. "2013 GlobalStatus Report", París, Francia.

REN21 (2016). "Renewables 2016 Global Status Report", París, Francia.

ROGNER, H.-H., F. BARTHEL, M. CABRERA, A. FAAIJ, M. GIROUX, D. HALL, V. KAGRAMANIAN, S. KONONOV, T. LEFEVRE, R. MOREIRA, R. NÖTSTALLER, P. ODELL, AND M. TAYLOR (2000). "Energy resources", *World Energy Assessment, Energy and the Challenge of Sustainability. United Nations Development Program, United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Energy Council*, Nueva York, Estados Unidos.

ROOT, D. H. (1977). "Survey and appraisal of primary future energy resources", *Miami International Conference on Alternative Energy Sources*, Miami Beach, Florida.

SANDER VAN DER LINDEN, EDWARD MAIBACH, ANTHONY LEISEROWITZ (2015). "Improving Public Engagement with Climate Change: Five 'Best Practice' Insights from Psychological Science", *Perspectives on Psychological Science, Association for Psychological Science*, <<https://doi.org/10.1177/1745691615598516>>

SATHAYE J., O. LUCON, A. RAHMAN, J. CHRISTENSEN, F. DENTON, J. FUJINO, G. HEATH, S. KADNER, M. MIRZA, H. RUDNICK, A. SCHLAEPFER, AND A. SHMAKIN (2011). "Renewable Energy in the Context of Sustainable Development", *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos.

SIKAMÄKIJUHA, NEWBOLDSTEPHEN C. (2012). "Potential Biodiversity Benefits from International Programs to Reduce Carbon Emissions from Deforestation", *Ambio*.

SIMS R., P. MERCADO, W. KREWITT, G. BHUYAN, D. FLYNN, H. HOLTINEN, G. JANNUZZI, S. KHENNAS, Y. LIU, M. O'MALLEY, L. J. NILSSON, J. OGDEN, K. OGIMOTO, H. OUTHRED, Ø. ULLEBERG, AND F. VAN HULLE (2011). "Integration of Renewable Energy into Present and Future Energy Systems", *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos.

STROHBACHMICHAEL W., ARNOLDERIC, HAASE DAGMAR (2012). "The carbon footprint of urban green space—A life cycle approach", *Landscape and Urban Planning*.

TAREK M. KHALIL (1981). "Comparative analysis of energy resources", *International Journal of Production Research*.

TRBNRC (Transportation Research Board and National Research Council). 2008. "Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation", *Special Report 290*. Washington, DC: The National Academies Press. <<https://doi.org/10.17226/12179>>.

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). 2010. "United Nations International Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009", Geneva, Switzerland.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2008. "Kyoto Protocol: Reference Manual", Bonn, Alemania.

USDOT (US Department of Transportation Federal Transit Authority). 2010. "Public Transportation's Role in Responding to Climate Change".

VAN DER WERF GR, MORTON DC, DEFRIES RS, OLIVIER JGJ, KASIBHATLA PS, JACKSON RB, COLLATZ GJ (2009). "CO₂ emissions from forest loss", *Nature Geoscience*.

VOGT REGINE, DERREZA-GREEVENCASSANDRA, GIEGRICHJÜRGEN, DEHOUSTGÜNTER, MÖCKALEXANDRA, MERZ CORNELIA (2015). "The Climate Change Mitigation Potential of the Waste Sector", *Umwelt Bundesamt.t*

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). 2012. "Emission Factors from Cross-Sector Tools", *GHG Protocol*, Geneva.

WISER, R., AND M. BOLINGER (2010). "2009 Wind Technologies Market Report". *US Department of Energy*, Washington, DC, USA.

WOOLDRIDGE (2010). "Econometric Analysis of CrossSection andPanelData", *MIT press*.

ZACHMANN G., SERWAAH A., PERUZZI M. (2014). "When and how to support renewables? Letting the data speak", *Bruegel Working Paper*.