



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CO₂
GENERADAS POR LA EMPRESA TCC BAJO
ESCENARIOS DE TELETRABAJO**

Autor(es)

Gabriel Ricardo Restrepo Romero

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería, Escuela ambiental

Medellín, Colombia

2021



ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CO₂ GENERADAS POR LA EMPRESA TCC
BAJO ESCENARIOS DE TELETRABAJO

Gabriel Ricardo Restrepo Romero

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Asesores (a):

Maria Camila Díaz Mesa – Ingeniera Ambiental e Ingeniera Sanitaria

Línea de Investigación:

Emisiones de CO₂ de fuentes móviles

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería, Escuela ambiental

Medellín, Colombia

2021

ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CO₂ GENERADAS POR LA EMPRESA TCC BAJO ESCENARIOS DE TELETRABAJO

RESUMEN

El sector del transporte es uno de los principales responsables de la mala calidad del aire que se presenta en algunas ocasiones en el Valle de Aburrá. Es por esto que el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha decretado la aplicación de los planes de movilidad empresarial sostenible (planes MES) que, por medio del desarrollo de diferentes estrategias, buscan disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) provenientes del desplazamiento de los empleados desde sus casas hasta las empresas donde laboran. En el presente trabajo se utiliza la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático en 2006 (IPCC, 2006) para calcular las emisiones de CO₂ de los vehículos en los que se desplaza el personal administrativo de la empresa TCC, con el fin de realizar un estudio sobre cómo la aplicación del teletrabajo, en el marco de los planes MES, puede llegar a disminuir las emisiones de CO₂ por el desplazamiento de los empleados de esta empresa. Los resultados infieren que la aplicación de una estructura del teletrabajo donde el 80% del personal administrativo trabaja algunos días desde casa y otros presencialmente en la empresa, puede llegar a disminuir entre el 30% y el 50% de las emisiones de CO₂ per cápita.

INTRODUCCIÓN

Desde hace un tiempo, el mundo se ha visto enmarcado en una alta preocupación por la calidad del aire (Gaitán et al., 2007), pues los hábitos de consumo actuales, el incremento en procesos productivos y el constante desarrollo industrial, sobre todo en las grandes ciudades, ha incrementado en gran medida la emisión de contaminantes a la atmósfera (Fenger, 1999) y, por ende, se genera una gran problemática debido a las afectaciones en la salud de las personas y en los ecosistemas que pueden estar asociadas a la calidad del aire. Según la OMS, la mala calidad del aire puede ser responsable de una alta mortalidad asociada a accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, y se estima que aproximadamente 4,2 millones de personas mueren al año por factores asociados la contaminación (OMS, 2020). Además, en los últimos 50 años, el incremento de la actividad humana ha liberado grandes cantidades de CO₂ y de otros gases que, por medio del efecto invernadero, generan e incrementan el conocido cambio climático, causando una elevación de la temperatura global y de otros factores climático (OMS, 2020). Esta creciente

preocupación por la calidad del aire ha llevado a que las autoridades en todo el mundo generen estrategias para reducir estas emisiones y mitigar el impacto que tienen sobre el ambiente y la salud (Gaitán et al., 2007).

El Valle de Aburrá es un ejemplo de los diferentes efectos que produce la mala calidad del aire. El gran crecimiento poblacional e industrial de la ciudad y su topografía de valle han permitido que las condiciones de calidad del aire locales sean perjudiciales para la salud en muchas ocasiones, principalmente en los meses de marzo-abril y septiembre-octubre, donde los fenómenos de inversión térmica y la formación de nubes bajas no permiten la dispersión de los contaminantes y estos quedan atrapados en el valle (UNAL, 2011). En los diferentes inventarios de emisiones que se han realizado en el Valle de Aburrá se ha encontrado un aporte de contaminantes importante por parte del sector industrial, y por esta razón es pertinente tenerlos en cuenta en las estrategias de acción en contra de la mala calidad del aire en el área metropolitana (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2020).

Dentro de estas estrategias que implementa el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se encuentran los planes empresariales de movilidad sostenible (Planes MES), estrategia que es planteada en el marco del eje temático número 5 del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá (PIGECA) y que tienen como objetivo "ofrecer alternativas de movilidad más eficientes a los empleados, para la reducción de emisiones e intensidad de viajes" (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2020), y de esta manera cumplir la meta de reducir el 10% de las emisiones de CO₂ en el primer año de implementación y un 20% en el segundo año. Estos planes MES fueron adoptados por medio de la resolución metropolitana 1379 del 16 de junio de 2017 y deben ser implementados por todas las entidades, organizaciones y empresas públicas y privadas que superen los 200 trabajadores y que estén ubicadas dentro de los alguno de los 10 municipios del área metropolitana.

La pandemia de COVID-19 ha causado innumerables cambios al estado de muchas dimensiones, y la ambiental es una de ella (Zangari et al., 2020). El 17 de marzo de 2020 y por medio del decreto 417 de 2020, la presidencia de la república de Colombia declaró un estado de emergencia económica, social y sanitaria en todo el territorio nacional debido a la enfermedad del COVID-19. Estas medidas han cambiado las dinámicas de movilidad de la ciudad, debido a que muchas empresas debieron detener sus actividades y otras han adoptado estrategias como el teletrabajo y el trabajo en casa. Esta condición propició que para el primer año de implementación de los planes MES, se suspendiera el periodo de reporte, y por medio del protocolo de estrategias de movilidad sostenible en tiempos de

COVID-19 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2020), el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ofrece a las empresas nuevas medidas para aplicar los planes MES con el nuevo contexto en que se ven enmarcadas desde marzo del 2020.

Muchos estudios se han hecho sobre el impacto del teletrabajo sobre el ambiente y su influencia en muchas otras dimensiones. Según el estudio de Sánchez y otros (2003), el teletrabajo reduce considerablemente los kilómetros recorridos de los empleados y las emisiones de contaminantes a la atmósfera por parte de la empresa. De acuerdo con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se calcula que, en el año 2017, en Medellín había 25.081 teletrabajadores, que representan el 26% del total en Colombia y se espera que la cifra continúe en aumento. TCC S.A.S, es una empresa de transporte y logística ubicada en el barrio Caribe, Medellín, al noroccidente de la ciudad. La empresa propone en su Plan MES diferentes alternativas para fomentar una movilidad sostenible entre los empleados, más activa y más consciente, entre las que destacan, la prioridad en la asignación de celdas de parqueo a las personas que compartan el automóvil, fomento de uso del transporte público y trabajo en casa. Mediante el acuerdo 0041 de 2020 del ministerio de trabajo, la empresa TCC acogió los lineamientos pertinentes a la implementación del trabajo en casa como estrategia de bioseguridad durante la emergencia sanitaria por la pandemia del COVID-19.

El objetivo del presente proyecto es calcular las emisiones de CO₂ en una ventana de tiempo de 1 año, desde enero de 2021 hasta diciembre de 2021, generadas por la empresa TCC en el marco de los planes MES propuestos por la misma, considerando tres escenarios:

- Un escenario NO-COVID, en el que no se considera presencia de COVID-19 ni de teletrabajo y se considera que todos los empleados se desplazan hasta la empresa para realizar sus actividades laborales.
- Un escenario COVID, en el que las personas con cargos administrativos realizan todas sus actividades laborales desde casa.
- Un escenario POST-COVID, en el que se considera un regreso progresivo a las actividades presenciales del personal administrativo. Este escenario en específico será estudiado por la empresa desde enero de 2021, comparando 2 posibilidades de trabajo:
 - El 80% del personal administrativo trabajando 3 días en la oficina y 2 desde casa.
 - El 80% del personal administrativo trabajando 2 días en la oficina y 3 desde casa.

Para esto, se tendrá como información sustancial una encuesta origen - destino realizada en marzo de 2021 a los trabajadores de TCC para luego, por medio de herramientas del Sistema de información geográfica QGIS, calcular la cantidad de kilómetros desde la casa de los colaboradores de TCC hasta las instalaciones de la empresa, y de esta manera determinar las emisiones que generan debido a su desplazamiento hacia y desde la empresa, teniendo en cuenta las condiciones de cada uno de los escenarios anteriormente explicados.

Cabe anotar que, aunque TCC tiene muchas sedes a nivel nacional, el presente proyecto abarcará únicamente la regional Medellín, debido a que esta es la que se encuentra en la jurisdicción del área metropolitana y, por ende, la que debe implementar los planes MES como estrategia de movilidad sostenible. También es importante aclarar que la población de muestra para el estudio estará conformada únicamente por personal del área administrativa de la empresa. Esto se debe a que, dentro de los escenarios propuestos, este personal podría realizar sus funciones laborales desde casa, caso contrario al personal operativo (conductores, mecánicos, entre otros), que definitivamente deben trasladarse a la empresa para realizar sus funciones.

Este tipo de estudios representa una gran importancia dentro del ámbito de la ingeniería ambiental, toda vez que representa una oportunidad de mejoramiento en factores como la calidad del aire en una ciudad que, debido a sus condiciones físicas y de alta población, es propensa a tener una calidad del aire moderada y hasta dañina para la salud. Dentro del ámbito empresarial es de vital importancia desarrollar proyectos como estos, con el fin de obtener información que puede ser de utilidad para la toma de decisiones en cuanto a la implementación del teletrabajo, ya no solo como una estrategia de disminución de riesgo de contagio del COVID-19, sino también como una estrategia de mitigación de impactos ambientales que producen las empresas, y de esta manera dar cumplimiento a los planes MES en el Valle de Aburrá y demás requisitos legales de índole ambiental.

OBJETIVOS

General

Comparar las emisiones de CO₂ de la empresa de transporte y logística TCC en la sede de Medellín bajo la primicia de realizar una proyección de los tres escenarios propuestos para el año 2021 (NO-COVID, COVID y POST-COVID)

Específicos

- Determinar las emisiones de la empresa bajo los tres escenarios, teniendo en cuenta los factores de emisión de los vehículos de los trabajadores.
- Analizar el comportamiento de las emisiones con la implementación del teletrabajo y trabajo en casa como estrategia de bioseguridad por la pandemia de COVID-19 y dentro del marco de los planes MES de la empresa.
- Generar información y estrategias, desde el punto de vista ambiental, que le ayuden a la empresa a tomar decisiones en cuanto al regreso del personal administrativo al trabajo presencial.

MARCO TEÓRICO

Las ventajas y desventajas de la implementación del teletrabajo por parte de las empresas, es un tema que ha sido estudiado en varias ocasiones. De diversos artículos se puede construir una definición para el término teletrabajo, el cual viene del griego *telou* y del latín *tripaliare* que significan lejos y trabajar, respectivamente (Contreras & Rojas, 2015), y se entiende como trabajar a distancia, ya sea desde casa o en un lugar alejado de las instalaciones de la empresa (Osio Havriluk & Delgado, 2010). El teletrabajo puede implementarse de tiempo completo, donde toda actividad es realizada desde casa, o puede ser ocasional, donde por cierto tiempo se llevan a cabo las actividades en casa y en ocasiones se realizan en la empresa (Civit & March, 2000).

El concepto del teletrabajo y su estudio no es algo nuevo, ya en los años 80 se hablaba de teletrabajo y de los beneficios y contraindicaciones que trae su implementación. Autores como Toffler en 1981 y Handy en 1984, ya predecían el auge que iba a tener el teletrabajo a finales del siglo XX e inicios del siglo XXI (Baruch, 2000). En estos años se analizaba que por lo menos el 50% del trabajo de muchos cargos en las empresas podría ser realizado en la casa (Olson & Prims, 1984), y otros afirmaban que dos tercios de los trabajos podrían implementarse por medio de esta modalidad (Steinle, 1988).

En cuanto a las implicaciones del teletrabajo en la dimensión ambiental, son también varios los estudios que se han realizado. Uno de ellos es el desarrollado en España por Angel Martínez Sánchez y su equipo (Martínez et al., 2003), en el cual se realiza una revisión bibliográfica bastante amplia para determinar los impactos del teletrabajo sobre el ambiente, enfocándose en la cantidad de emisiones de contaminantes que se evitan al implementar el teletrabajo. Una de las implicaciones más conocidas del teletrabajo es la reducción de kilómetros recorridos entre la casa y la empresa para laborar, por ejemplo en Reino Unido, se estima que un trabajador promedio se desplaza al año unos 5.000 kilómetros por motivos de trabajo (Hopkinson et al., 1999). Este y otros estudios en distintos países

han encontrado que, con el teletrabajo, se evitan los 25-35 minutos promedio de transporte hacia la empresa por cada trabajador (Kenworthy & Laube, 1999).

Muchas veces se ha dicho y se ha estudiado cómo el sector del transporte genera gran cantidad de contaminantes (Pino-Cortés et al., 2020; Jonson et al., 2017), que terminan afectando la calidad del aire y, por ende, la salud de las personas (Abelsohn & Stieb, 2011). En el estudio de Jonson, por ejemplo, se encontró que las emisiones de NO_x procedentes de los vehículos Diesel incrementaron las concentraciones de NO₂, PM_{2.5} y ozono en Europa, y a estas concentraciones se les puede atribuir hasta 10.000 muertes durante el año 2013 (Jonson et al., 2017). De igual manera, según lo encontrado en el estudio de Pino-Cortés, la alta actividad de vehículos Diesel en ciudades de Chile, Argentina, Brasil y otros países, se traducen en una alta concentración de black carbon y carbono orgánico, precursores del material particulado, mientras que el uso de biodiesel y gas, disminuye estas concentraciones (Pino-Cortés et al., 2020). Un estudio realizado en Rzeszów, Polonia (Madziel et al., 2021), señala las ventajas de tener un parque automotor que funcione eléctricamente en lugar de con gasolina o diesel, disminuyendo aproximadamente un 30% las emisiones en lugares puntuales de la ciudad. Es por esto que, en la mayoría de los casos, se considera que el teletrabajo tiene impactos positivos sobre el ambiente al disminuir la cantidad de kilómetros recorridos y emisiones por parte del parque automotor de los empleados. Sin embargo, muy pocos estudios han considerado otro tipo de recorridos que puedan tener los empleados, diferentes al camino desde su casa hasta la empresa. Los pocos estudios que se han realizado teniendo en cuenta estos viajes adicionales, encontraron que no se disminuyen los desplazamientos derivados del trabajo (Martinez et al., 2003).

La gran y creciente preocupación por la calidad del aire ha conducido a todo el mundo a desarrollar estrategias para mitigar el impacto del transporte y la movilidad en las empresas y en diferentes instituciones. Varios estudios se han realizado estudiando las estrategias que gobiernos e instituciones implementan alrededor del mundo, como en España (Gonzalez, 2017), Noruega (Bardal et al., 2020), Estados Unidos (Franco, 2014), Asia (Regmi, 2020) y otros países de Europa (Ferri & Cuenca, 2010). Estos estudios se intersecan en muchas estrategias como el incentivar el uso de bicicletas, los vehículos compartidos, aumento en la seguridad de peatones, el uso de transporte público, entre otros. La implementación de estos planes ha mostrado resultados positivos alrededor del mundo. Por ejemplo, en Tres Cantos, Madrid, se disminuyó en un 27% el tráfico privado hacia las empresas después de implementar los planes de movilidad empresarial sostenible (Gonzalez, 2017). Por otro lado, la ciudad de Bogotá en Colombia ha implementado el fomento al uso de la bicicleta como estrategia de movilidad en la ciudad, logrando que 200.000 personas se movilicen por este medio y reduciendo un 20% el tráfico privado de la ciudad (Gonzalez, 2017). El valle de Aburrá no se ha

quedado atrás en este tema, y por medio del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire para el Área Metropolitana del Vallé de Aburrá (PIGECA 2017-2030) ha incursionado en una gran cantidad de estrategias para mitigar la contaminación y sus afectaciones sobre la calidad del aire y la salud de las personas. Una de estas estrategias es la implementación de los Planes de Movilidad Empresarial Sostenibles, conocidos como Planes MES, los cuales buscan que las organizaciones reflexionen sobre los impactos que tienen los viajes de sus colaboradores e implementen estrategias que contribuyan a mejorar la movilidad, la calidad del aire, la salud y la calidad de vida de los habitantes del territorio metropolitano (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2020).

METODOLOGÍA

Partiendo del hecho de que algunos empleados de la empresa TCC deben realizar sus actividades de manera obligatoria en la empresa, se determinó como muestra de estudio los 194 colaboradores de la parte administrativa de la empresa, que podrían desarrollar sus actividades completa o parcialmente desde la casa. El levantamiento de la información se realizó por medio de una encuesta origen-destino (que también sirvió como entregable del primer informe de seguimiento de los planes MES), en el que se les preguntó principalmente a los colaboradores la dirección de su residencia y el medio de transporte usado para desplazarse de su casa a la empresa y viceversa (los cuales pueden ser: automóvil, moto, bus, Metroplús, taxi, metro, caminata o bicicleta).

Una vez obtenida la información de residencia, se realizó un procesamiento en el sistema de información geográfica QGIS, con el cuál se georreferenció cada vivienda y se calculó la distancia recorrida por cada colaborador para llegar a la empresa.

Por su parte, el cálculo de las emisiones de CO₂ de cada escenario se realizó con la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático en 2006 (IPCC, 2006), en la que por medio de la siguiente fórmula se estima la cantidad de CO₂ emitida por un desplazamiento en función de los kilómetros recorridos y el tipo de vehículo utilizado:

$$gCO_2 = \sum (KM * FE)$$

(Ecuación 1)

Donde:

- gCO_2 : son las emisiones de CO2 emitidas por cada desplazamiento
- KM : Son los kilómetros recorridos en el desplazamiento.
- FE : Es el factor de emisión que depende de cada vehículo

Para determinar los factores de emisión en este estudio, se utilizaron los factores calculados para cada tipo de vehículo en el estudio de Vanessa Ríos realizado en el área metropolitana del Valle de Aburrá (Ríos et al., 2016):

Medio de transporte	Factor de emisión (gCO_2/Km)
Automóvil	189,21
Bus - Colectivo	21,75
Motocicleta	24,67
Metro	28,27
Metroplús	11,31
Taxi o similares	148,51
Bicicleta	0
A pie	0

Tabla 1: Factores de emisión por tipo de vehículo

Así las cosas, la diferencia en los resultados de los tres escenarios estará determinada por el número de desplazamientos pertinentes a cada escenario, teniendo en cuenta que el escenario NO-COVID estará representado por el mayor número de desplazamientos y el escenario COVID será el que menos desplazamientos tendrá.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

- **Distribución espacial de los trabajadores en el Valle de Aburrá**

En la *figura 1* se puede ver la ubicación de la residencia de los 194 colaboradores de TCC que se tienen como muestra para este estudio. Las residencias de los colaboradores se encuentran bien distribuida a lo largo de todo el Valle de Aburrá, e incluso por fuera de este, con algunos pocos colaboradores que viven en el municipio de Guarne. Sin embargo, es importante aclarar que la mayoría de colaboradores (aproximadamente el 80% de ellos) viven en Medellín y Bello, municipios más cercanos a las instalaciones de TCC (ver *tabla 2*).

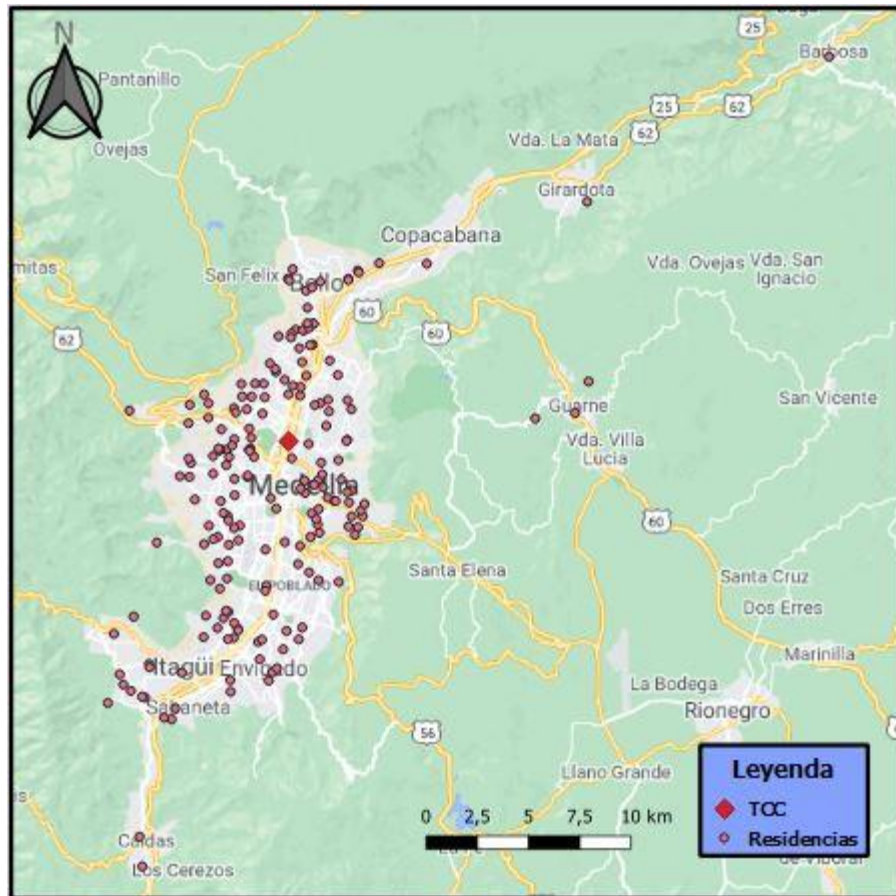


Figura 1: mapa de residencia de los colaboradores de TCC.

Municipio	Residencias	Porcentaje
Medellín	133	68,6%
Bello	22	11,3%
Itagüí	13	6,7%
Envigado	9	4,6%
La Estrella	6	3,1%
Sabaneta	3	1,5%
Guarne	3	1,5%
Caldas	2	1,0%
Barbosa	1	0,5%
Copacabana	1	0,5%
Girardota	1	0,5%
TOTAL	194	100,0%

Tabla 2: Distribución espacial de la residencia de los colaboradores

- **Medios de transporte**

Los tipos de transporte utilizado por los colaboradores del tipo administrativo de TCC para ir a la empresa y volver a sus residencias se muestra en la *tabla 3*. El automóvil particular se posiciona como el medio de transporte más usado por los colaboradores administrativos de TCC, con un 45,4 % de trabajadores usándolo como medio de movilización. Esto representa un reto grande a la hora de disminuir las emisiones provenientes de la movilización de los empleados de la empresa, puesto que el automóvil es el medio de transporte con el factor de emisión más alto de todos. Sin embargo, también es importante mencionar que el segundo vehículo más usado por este tipo de colaboradores es el bus o colectivo (con un 21,6 % de trabajadores usándolo), medio de transporte que debido a su gran capacidad de usuarios que puede transportar al mismo tiempo, es representado por uno de los factores de emisión más bajos.

Municipio	Residencias	Porcentaje
Automóvil	88	45,4%
Bus - Colectivo	42	21,6%
Motocicleta	39	20,1%
Metro	6	3,1%
Metroplús	6	3,1%
Taxi o similares	6	3,1%
Bicicleta	4	2,1%
A pie	3	1,5%
TOTAL	194	100,0%

Tabla 3: Distribución porcentual del medio de transporte usado

- **Distancia desde las residencias hasta TCC**

Tal y como se puede apreciar en la *figura 2*, una gran parte de los colaboradores administrativos (aproximadamente el 45% de la muestra) viven a menos de 6 kilómetros de las instalaciones de la empresa. Esto representa un factor importante a la hora de desarrollar estrategias de mitigación de emisiones por desplazamiento hacia o desde la empresa, puesto que el hecho de que muchos vivan cerca facilita el fomento a la caminata y al uso de bicicleta. La otra parte de los colaboradores viven, en su mayoría, entre los 6 y 30 kilómetros, con los que es más viable desarrollar

otro tipo de estrategias como el fomento al uso del transporte público, rutas compartidas, entre otras.

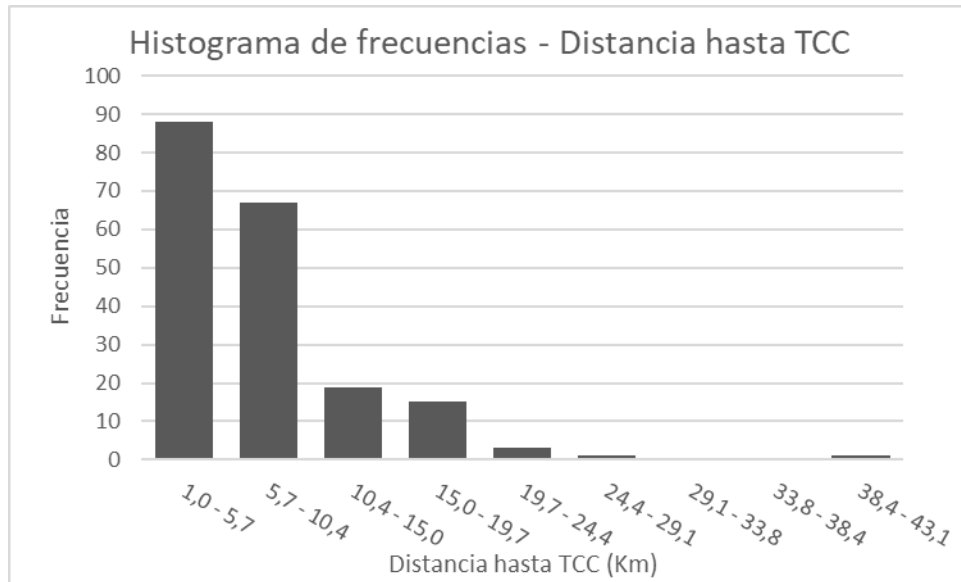


Figura 2: Histograma de frecuencia - distancia entre residencias y TCC

- **Emisiones de CO₂ por desplazamientos a la empresa.**

- **Escenario NO COVID:**

Considerando el hecho de que en este escenario los colaboradores administrativos de TCC se desplazan diariamente hacia la empresa y que al día se llevarían a cabo 2 desplazamientos (de la residencia a la empresa y de la empresa a la residencia) se calculó la cantidad de CO₂ generado en un día por los colaboradores de la muestra:

$$gCO_2 E1 = \sum (KM * FE) = 312.817,09 \frac{gCO_2}{día}$$

(Ecuación 2)

Según el informe de movilidad sostenible que se está diligenciando para este año en el marco de los planes MES, la empresa TCC genera 1.022.500 gramos de CO₂ diariamente, esto contando tanto al personal administrativo como al personal operativo. Esto quiere decir que las emisiones de la muestra de la población para este estudio (que no es el personal administrativo en su totalidad), serían aproximadamente el 30,6 % de las emisiones totales al día de hoy. Esto

es un factor importante para tener en cuenta debido a que es un porcentaje significativo, teniendo en cuenta que las metas de los planes MES son de un 10% y un 20% para el primer y segundo año de implementación, respectivamente. Por esta razón, buscar una estructuración del trabajo en casa para los empleados administrativos puede traer muy buenos resultados en la disminución de emisiones por desplazamientos.

Para un mejor análisis y una correcta comparación con los otros escenarios, se manejará la información semanalmente, multiplicando el consumo diario por los días a la semana en que los trabajadores se desplazan a la empresa, según cada escenario. Además, se calculará el consumo per cápita para un mejor análisis, es decir, se calcula cuánto CO₂ genera en promedio cada colaborador, dividiendo las emisiones totales entre el total de trabajadores de la muestra:

$$gCO_2 E1 = 312.817,09 \frac{gCO_2}{día} * \frac{5 \text{ día}}{\text{semana}} = 1.564.085,45 \frac{gCO_2}{\text{semana}}$$

(Ecuación 3)

$$gCO_2 E1 PC = \frac{1.564.085,45 \frac{gCO_2}{\text{semana}}}{194 \text{ personas}} = 8.062,29 \frac{gCO_2}{\text{semana} * \text{persona}}$$

(Ecuación 4)

Como resultado principal del escenario NO COVID, se tiene que en una semana cada colaborador generaría 8.062,29 gramos de CO₂. Claramente, el hecho de que en este escenario el trabajo sea totalmente desde la empresa, representa las emisiones por movilidad más grandes, pero tomará más sentido cuando se compare con los resultados de los otros escenarios.

➤ **Escenario COVID:**

Este escenario se caracteriza por realizar todas sus actividades desde casa, y se considera únicamente un día a la semana en el que los empleados deben ir a la empresa a realizar labores que solo se pueden llevar a cabo presencialmente. Por esta razón, la generación

de CO₂ semanalmente en este escenario está representado por la siguiente ecuación:

$$gCO2 E2 = 312.817,09 \frac{gCO2}{día} * \frac{1 día}{semana} = 312.817,09 \frac{gCO2}{semana}$$

(Ecuación 5)

$$gCO2 E2 PC = \frac{312.817,09 \frac{gCO2}{semana}}{194 personas} = 1.612,46 \frac{gCO2}{semana * persona}$$

(Ecuación 6)

Este escenario se ve representado por las emisiones más bajas, debido a los pocos desplazamientos que se generan por parte del personal administrativo. A la hora de comparar los escenarios, se obtiene que la implementación del escenario COVID disminuiría en un 80% las emisiones de CO₂ por desplazamientos en comparación con el escenario NO COVID. Esto muestra la importancia de llevar a cabo una estructuración de la estrategia del trabajo en casa, en el que se vería reflejado una disminución importante de las emisiones por desplazamientos hacia o desde la empresa.

$$\frac{gCO2 E1 PC - gCO2 E2 PC}{gCO2 E1 PC} * 100 = \frac{8.062,29 - 1.612,46}{8.062,29} * 100 = 79,99 \%$$

(Ecuación 7)

➤ **Escenario POST-COVID:**

El escenario POST COVID, como se ha mencionado anteriormente, se caracteriza por considerar escenarios más reales a lo que podría llegar a ser una correcta estructuración de la estrategia de trabajo en casa para TCC. El establecimiento de las condiciones de este escenario parte del hecho de que, aunque muchas actividades del personal administrativo pueden realizarse desde casa, en realidad también se necesita de un acercamiento presencial para llevar a cabo las actividades de manera adecuada. Además, se considera

una alternancia solo del 80% del personal administrativo debido a que el personal de algunas áreas administrativas (informática y tecnología, seguridad y salud en el trabajo, entre otras) si necesitan realizar sus labores de manera totalmente presencial. El 20% del personal que se desplazaría diariamente, fue seleccionado aleatoriamente de la muestra, y se calculó su generación, que será fija en los dos condicionales establecidos del presente escenario:

$$gCO2\ 20\% = \sum (KM * FE) = 66.586,29 \frac{gCO2}{día}$$

(Ecuación 8)

$$gCO2\ 20\% = 66.586,29 \frac{gCO2}{día} * \frac{5\ día}{semana} = 332.931,45 \frac{gCO2}{semana}$$

(Ecuación 9)

80% del personal administrativo trabajando 3 días en la oficina y 2 desde casa.

En primera instancia, se calcularon las emisiones generadas por el 80% de la muestra que se desplazaría 3 veces a la semana de la siguiente manera:

$$gCO2\ 80\%_1 = \sum (KM * FE) = 246.230,8 \frac{gCO2}{día}$$

(Ecuación 10)

$$gCO2\ 80\%_1 = 246.230,8 \frac{gCO2}{día} * \frac{3\ día}{semana} = 738.692,4 \frac{gCO2}{semana}$$

(Ecuación 11)

Teniendo en cuenta esto, la generación semanal total estaría dada por la suma de las emisiones del 20% del personal que trabaja 5 días desde la empresa y las emisiones del 80% que trabaja 3 días en la misma. De la misma manera en que se realizó el análisis en los anteriores escenarios, para este se calculará la generación per cápita

con el objetivo de realizar una comparación más adecuada entre escenarios:

$$gCO2 E3_1 = 332.931,45 + 738.692,4 = 1.071.623,85 \frac{gCO2}{semana}$$

(Ecuación 12)

$$gCO2 E3_1 PC = \frac{1.071.623,85 \frac{gCO2}{semana}}{194 \text{ personas}} = 5.523,46 \frac{gCO2}{semana * persona}$$

(Ecuación 13)

Teniendo ahora la generación semanal per cápita, se puede comparar con el escenario NO COVID, para determinar cuánto disminuirían las emisiones de CO₂ con la implementación del presente escenario:

$$\frac{gCO2 E1 PC - gCO2 E3_1 PC}{gCO2 E1 PC} * 100 = \frac{8.062,29 - 5.523,46}{8.062,29} * 100 = 31,49 \%$$

(Ecuación 14)

Tal y como se puede apreciar, la implementación y correcto cumplimiento de esta estrategia puede disminuir en un 31,5% las emisiones de CO₂ que generan los colaboradores administrativos de la empresa. Considerando de nuevo las metas de disminuir un 10% y 20% las emisiones de CO₂ en los dos primeros años de implementación de los planes MES, este escenario abarcaría gran parte de esta disminución, al disminuir el 31% de las emisiones del 38% del personal de la empresa.

80% del personal administrativo trabajando 2 días en la oficina y 3 desde casa.

Las características de este escenario también se podrían ajustar de manera muy efectiva a la realidad de la empresa, destinando 2 días a la semana a las actividades que se deben realizar en la empresa presencialmente. A continuación, se calculará, en primer lugar, las

emisiones de ese 80% del personal que labora únicamente 2 días en la empresa y los otros 3 desde casa:

$$gCO2\ 80\%_2 = \sum (KM * FE) = 246.230,8 \frac{gCO2}{día}$$

(Ecuación 15)

$$gCO2\ 80\%_2 = 246.230,8 \frac{gCO2}{día} * \frac{2\ día}{semana} = 492.461,6 \frac{gCO2}{semana}$$

(Ecuación 16)

Luego, tal como se realizó con el anterior condicional de este escenario, se calculan las emisiones totales a las semanas sumando las emisiones del 80% del personal administrativo que realiza trabajo en casa con las emisiones del otro 20% que se transporta diariamente a la empresa, para posteriormente calcular las emisiones per cápita de este escenario:

$$gCO2\ E3_2 = 332.931,45 + 492.461,6 = 825.393,05 \frac{gCO2}{semana}$$

(Ecuación 17)

$$gCO2\ E3_2\ PC = \frac{825.393,05 \frac{gCO2}{semana}}{194\ personas} = 4.254,60 \frac{gCO2}{semana * persona}$$

(Ecuación 18)

Teniendo las emisiones semanales per cápita se puede calcular el cambio en las emisiones cuando se compara con el escenario NO COVID:

$$\frac{gCO2\ E1\ PC - gCO2\ E3_2\ PC}{gCO2\ E1\ PC} * 100 = \frac{8.062,29 - 4.254,60}{8.062,29} * 100 = 47,23\ %$$

(Ecuación 19)

Por su parte, al implementarse la estrategia de 3 días trabajando desde cas y 2 desplazándose a la empresa, el personal administrativo

podría disminuir hasta un 47,23% de sus emisiones, porcentaje significativo a la hora de lograr las metas de los planes MES.

Claramente, el escenario COVID (que disminuye el 80% de las emisiones) sería más eficiente y ayudaría de manera más efectiva a lograr la meta de disminución de los planes MES. Sin embargo, ese escenario no representa una realidad muy considerable en cuanto al desarrollo de las actividades del personal administrativo, por lo que la mejor opción sería buscar implementar algunas de las dos opciones del escenario POST COVID, en el que sí existen desplazamientos a la empresa por parte del personal administrativo, pero se reducen en porcentajes significantes las emisiones del CO₂ del 38% del personal de la empresa.

CONCLUSIONES

Según el informe de movilidad sostenible para 2021 que diligenció la empresa TCC en el marco de los planes de movilidad empresarial sostenible para el Área Metropolitana, los desplazamientos del personal desde su casa hasta la empresa y viceversa generan 1.022.500 gramos de CO₂ cada día, en promedio. La población que sirvió de muestra para este estudio (194 trabajadores del personal administrativo) genera el 30,6% de estas emisiones diarias.

Tal y como se puede ver en la *figura 1*, las viviendas del personal de la muestra se encuentran distribuidas a lo largo de los 10 municipios del Valle de Aburrá, y un poco porcentaje viviendo en el municipio de Guarne. El 80% de la muestra se encuentra concentrado entre los municipios de Medellín y Bello, que son los más cercanos a las instalaciones de TCC. Es importante aclarar que, aunque la distribución de las viviendas esté a lo largo de todo el Valle, el 45,4% de la muestra viven entre 1 km y 5,7 km de la empresa, y el 34,5% entre 5,7 km y 10,4 km, encontrándose por ende que la mayoría del personal de la muestra (el 79,9%) viven realmente cerca de la empresa, por lo que los desplazamientos son más cortos y generan menos emisiones.

A pesar de que la mayoría de trabajadores de la muestra vivan a menos de 10 km de TCC, un resultado inesperado es que el 45,4% de estos se transporta en automóvil particular (medio de transporte con el mayor factor de emisión: 189,21 gCO₂/Km). Esto implica que la empresa puede buscar también, a parte del teletrabajo, estrategias de fomento al uso de transporte público, bicicleta y caminatas, tomando como eje fundamental la cercanía de las viviendas de la mayoría de colaboradores y el gran uso de automóvil particular. Después del

automóvil, los medios de transporte más usados son: el bus y colectivo con un 21,6% y la motocicleta con un 20,1% de colaboradores usándolos, ambos medios de transportes con factores de emisión bajos en comparación con los otros (21,75 gCO₂/Km y 24,67 gCO₂/Km, respectivamente).

La comparación entre escenarios arrojó resultados positivos en cuanto a la disminución de emisiones de CO₂ por los desplazamientos de los empleados de la empresa al implementarse el teletrabajo. El escenario COVID, en el que todo el personal administrativo realiza sus funciones desde casa y se desplazan a la empresa un día a la semana, se vio representado por una disminución del 80% de las emisiones de CO₂ en comparación con el escenario NO COVID, en el que el personal se desplaza todos los días a la empresa. Sin embargo, aunque el porcentaje de disminución sea una cifra tan apreciable, a la hora de la verdad no es un escenario muy favorable para la empresa, puesto que, a pesar de ser cargos administrativos, muchas de las funciones que deben realizar precisan de la presencialidad en la empresa para poder llevarse a cabo, además de haber algunos cargos administrativos que si o si deben realizarse 100% desde la empresa (como informática y tecnología, seguridad y salud en el trabajo, entre otros).

Por lo anterior, el escenario POST-COVID fue propuesto como una manera de implementar el teletrabajo para el personal administrativo de TCC de una manera más adecuada y no comprometer las funciones y desarrollo de actividades de los trabajadores. El escenario en el que el 80% del personal se desplaza 3 días a la semana hasta la empresa y 2 días trabaja desde casa representa una disminución del 31,5% de las emisiones de CO₂ por desplazamientos, mientras que el escenario que considera que el 80% del personal administrativo se desplaza 2 días a la semana hasta la empresa y 3 días trabaja desde casa representa una disminución del 47,2%.

En conclusión, el estudio ha demostrado que la implementación de un modelo bien estructurado del teletrabajo para el personal administrativo de la regional Medellín de TCC, puede llegar a disminuir entre el 30% y 50% las emisiones de CO₂ que genera este tipo de personal, y dentro del marco de los planes de movilidad sostenible representa una muy buena alternativa para lograr a las metas establecidas de una disminución de emisiones del 10% y el 20% para el primer y segundo año de implementación de los planes. Además, el alto uso de vehículos particulares y la cercanía de muchos de los colaboradores a las instalaciones de TCC pueden ser la base para implementar otras estrategias de fomento al uso de transporte público, bicicleta y caminata, para complementar el teletrabajo como medida de disminución de las emisiones de CO₂ de la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abelsohn, A., & Stieb, D. (2011). Health effects of outdoor air pollution: approach to counseling patients using the Air Quality Health Index. *Canadian Family Physician*, 57(8), 881–887. <https://doi.org/10.1164/ajrcm.153.2.8564086>
2. Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2017). Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire para el Área Metropolitana del Vallé de Aburrá (PIGECA 2017-2030).
3. Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2018). Actualización inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá. Recuperado de: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Herramientas-de-gestion/Inventario-de-emisiones-atmosfericas.aspx>
4. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2020). Planes MES. Recuperado de: <https://www.metropol.gov.co/movilidad/Paginas/movilidad-activa/acciones-de-promocion/planes-mes.aspx>
5. Bardal, K. G., Gjertsen, A., & Reinart, M. B. (2020). Sustainable mobility: Policy design and implementation in three Norwegian cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 82(April), 102330. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102330>
6. Baruch, Y. (2000). Teleworking: Benefits and pitfalls as perceived by professionals and managers. *New Technology, Work and Employment*, 15(1), 34–49. <https://doi.org/10.1111/1468-005X.00063>
7. Civit, C., Civit-Alaminos, C., & March, M. (2000). Implantación del teletrabajo en la empresa. Barcelona: Gestión.
8. Contreras, O. E., & Rojas, I. R. (2015). Teletrabajo y sostenibilidad empresarial. Una reflexión desde la gerencia del talento humano en Colombia. *Suma de Negocios*, 6(13), 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2015.08.006>
9. Fenger, J. (1999). Urban air quality. *Atmospheric environment*, 33(29), 4877-4900.
10. Ferri, M., & Cuena, L. (2010). Estrategias para una movilidad sostenible en los desplazamientos en Europa. *Project E-COSMOS*. <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0722107.pdf>
11. Franco Cordero, L. (2014). La movilidad sostenible en campus universitarios: una comparación de las mejores prácticas en Estados Unidos y Europa. Aplicabilidad en universidades venezolanas. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 29(2), 23-40.
12. Granados Vélez, D. M. (2019). *Plan de movilidad sostenible (MES) de la sede La Frontera de Inversiones Euro SA* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista).
13. Gonzalez, M. (2017). Ideas y buenas prácticas para la movilidad sostenible. In *Ecologistas en acción*. <https://doi.org/10.5944/etfv.28.2016.22843>
14. Handy, C. (1984), *The Future of Work*, (Oxford: Basil Blackwell).
15. Hopkinson, P., James, P., & Selwyn, J. (1999, September). The environmental impact of teleworking. In *Actas del Congreso de Telework* (Vol. 99, pp. 187-195).
16. Hurtado Díaz, J. D. (2017). *Guía técnica para la elaboración de Planes Empresariales de Movilidad Sostenible (PEMS) en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista).
17. Jonson, J. E., Borken-Kleefeld, J., Simpson, D., Nyíri, A., Posch, M., & Heyes, C. (2017). Impact of excess NOx emissions from diesel cars on air quality, public health and eutrophication in Europe. *Environmental Research Letters*, 12(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8850>
18. Kenworthy, J. R., & Laube, F. B. (1999).

Patterns of automobile dependence in cities: An international overview of key physical and economic dimensions with some implications for urban policy. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(7–8), 691–723. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(99\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00006-3)

19. Martínez, A., Pérez, M., Carnicer, M., & Vela Jimenez, M. (2003). Análisis del impacto del teletrabajo en el medio ambiente urbano. *Boletín Económico de ICE, Información Comercial Española*, 2753, 23–40.

20. Mądział, M., Campisi, T., Jaworski, A., & Tesoriere, G. (2021). The Development of Strategies to Reduce Exhaust Emissions from Passenger Cars in Rzeszow City—Poland A Preliminary Assessment of the Results Produced by the Increase of E-Fleet. *Energies*, 14(4), 1046.

21. Olson, M. H. and Primps S. B. (1984), Working at Home with Computers – Work and Non work Issues, *Journal of Social Issues*, 40, 3, 97–122.

22. Organización Mundial de la salud (2020). *Calidad del aire y salud*. Recuperado de: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health#:~:text=En%20las%20Directrices%20de%20la,con%20la%20contaminaci%C3%B3n%20en%20aproximadamente](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health#:~:text=En%20las%20Directrices%20de%20la,con%20la%20contaminaci%C3%B3n%20en%20aproximadamente)

23. Organización Mundial de la salud (2020). *Cambio climático y salud*. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

24. Osio Havriluk, L., & Delgado, Y. (2010). MUJER, CYBERFEMINISMO Y TELETRABAJO. *Compendium*, 13(24), 61–78.

25. Pino-Cortés, E., Carrasco, S., Díaz-Robles, L. A., Cubillos, F., & Cereceda-Balic, F. (2020). Black and organic carbon fractions in fine particulate matter by sectors in the South Hemisphere emissions for decision-

making on climate change and health effects. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(30), 38344–38352. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10164-w>

26. Regmi, M. B. (2020). Measuring sustainability of urban mobility: A pilot study of Asian cities. *Case Studies on Transport Policy*, 8(4), 1224–1232. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.08.003>

27. Ríos, V., Marquet, O., & Miralles-Guasch, C. (2016). Estimación de las emisiones de CO₂ desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín. *Transporte y Territorio*, 15, 302–322.

28. Steinle, W. J. (1988), Telework: opening remarks on an open debate, in W. B. Korte, S. Robinson and W. J. Steinle (eds), *Telework: Present Situation and Further Developments of a New Form of Work Organization* (Amsterdam: North-Holland)

29. Toffler, A. (1981), *The Third Wave*, (London: Bantam Books Inc).

30. Universidad Nacional de Colombia (2011). *Medellín: Ahogada por el fenómeno de la inversión térmica*. Recuperado de: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/medellin-ahogada-por-el-fenomeno-de-la-inversion-termica.html>

