

INFORME TÉCNICO AMBIENTAL

**ANÁLISIS
MEDIOAMBIENTAL
COMPARATIVO
ENTRE LA
FORMACIÓN
PRESENCIAL
Y LA FORMACIÓN
EN REMOTO:
HUELLA DE
CARBONO
COMO
CATEGORÍA
DE IMPACTO
DE AMBOS TIPOS**

PRESENTACIÓN

En la era digital, la tecnología ha transformado nuestra vida diaria, ofreciendo nuevas formas de aprender, trabajar y comunicarnos. La formación online se ha consolidado como una herramienta poderosa del siglo XXI, revolucionando la educación y nuestra interacción con el planeta. Sin embargo, es crucial reflexionar sobre el coste ambiental de nuestras acciones, especialmente en términos de la huella de carbono generada por nuestras actividades de formación. Este informe de impacto ambiental se adentra en un tema que ha pasado desapercibido para muchos: el impacto ambiental de la formación online en comparación con otras modalidades formativas.

Este estudio aborda un tema que hasta ahora ha pasado desapercibido para muchos: el impacto ambiental de la formación online en comparación con otras modalidades educativas. La Asociación Nacional de Centros y Proveedores de e-Learning (ANCYPEL), organización empresarial que representa al sector de la formación online a nivel nacional, tenía interés en conocer estos datos para proporcionar información valiosa a la sociedad.

Para llevar a cabo este estudio, seleccionamos al Consejo General de Colegios Oficiales de Químicos de España, una institución independiente y de gran prestigio, para que reuniera a un grupo de científicos altamente cualificados en el estudio de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Esperamos que esta investigación sea el punto de partida para nuevos estudios que complementen este informe y sirva como una invitación a reflexionar, actuar y contribuir a un mundo más sostenible, donde el aprendizaje no solo sea una fuente de crecimiento personal, sino también de armonía con el planeta.

"El mundo es un lugar peligroso, no por aquellos que hacen el mal, sino por aquellos que miran sin hacer nada."
– Albert Einstein



Arturo de las Heras García

Presidente de ANCYPEL

Índice

INFORME EJECUTIVO.....	7
INFORME TÉCNICO AMBIENTAL.....	11
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Evolución de la educación y contexto ambiental	11
1.2. La formación presencial y su huella ambiental	12
1.3. Formación online y su impacto medioambiental	12
1.4. Factores de comparativa medioambiental	12
2. OBJETIVO DEL ESTUDIO	13
3. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Metodología IPCC 2013 GWP 20a	15
3.2. Metodología Greenhouse Gas Protocol V1.02.....	16
4. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL UTILIZADA	17
5. FASES DEL ESTUDIO	17
5.1. Proceso de acondicionamiento térmico de los recintos implicados en ambas modalidades formativas	18
Energía necesaria para el acondicionamiento térmico de un aula de centro formativo (para un supuesto de 30 alumnos por aula).....	18
Energía necesaria para el acondicionamiento térmico de una habitación de estudiante para la formación e-learning	20
Análisis de impacto medioambiental atribuido al acondicionamiento térmico	22
5.2. Proceso de iluminación de recintos necesario para la realización de las actividades académicas	26
Energía necesaria para iluminar un aula de centro formativo	26
Energía necesaria para iluminar una habitación de un alumno en formación online	27
Análisis de impacto medioambiental atribuido al proceso de iluminación.....	28
5.3. Proceso de ventilación de recintos necesario para la realización de las actividades académicas	32
Energía necesaria para la ventilación de un aula de centro formativo.....	32
Energía necesaria para la ventilación de una habitación de estudiante	33
Análisis de impacto medioambiental atribuido al proceso de ventilación.....	35
5.4. Uso de papel para la realización de las actividades académicas.....	37
Cantidad de papel utilizado en un aula de un centro formativo	38
Análisis de impacto medioambiental atribuido al uso de papel en las actividades formativas	40
5.5. Uso de equipos electrónicos y periféricos para la realización de las actividades formativas implicados en ambas modalidades.....	44
Consumo eléctrico para la impresión de 4.350 folios en sistema reprográfico de un centro formativo.....	45
Impacto de un ordenador portátil utilizado para la formación.....	47
Impacto de un ordenador sobremesa utilizado para la formación	48

Consumo de un ordenador portátil durante 5 horas.....	49
Consumo de un <i>videowall</i> y proyector de aula de centro formativo durante 5 horas.....	49
Análisis de impacto medioambiental atribuido a equipos electrónicos y periféricos.....	51
5.6. Incidencia del transporte en la formación presencial.....	53
Análisis de impacto medioambiental atribuido al transporte	54
6. CONCLUSIONES	57
7. ANEXOS	62
7.1. Calculadora de huella de carbono de cada estudiante	62
7.2. Caso práctico	63

INFORME EJECUTIVO. INFORME TÉCNICO SOBRE EL ESTUDIO AMBIENTAL PARA ANCYPEL

1. Antecedentes

El presente informe ha sido elaborado a solicitud de ANCYPEL por un equipo de expertos en Análisis de Ciclo de Vida del Consejo General de Colegios Oficiales de Químicos de España. Su objetivo principal es comparar la huella de carbono de la formación presencial y la formación online, analizando los impactos ambientales de ambas modalidades educativas.

El estudio responde a la necesidad de evaluar la sostenibilidad del sector educativo, dado el crecimiento de la educación online en programas de posgrado y formación continua. Para ello, se ha aplicado un enfoque metodológico riguroso basado en estándares internacionales de evaluación ambiental.

2. Metodología

El análisis se ha desarrollado bajo la metodología del **Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**, siguiendo las normas ISO 14040 e ISO 14044. Se han considerado diferentes categorías de impacto ambiental, centrándose en la **huella de carbono** (emisiones de CO₂ equivalente) y otras variables como toxicidad y escasez de recursos.

Las herramientas utilizadas incluyen SimaPro y metodologías como **IPCC 2013 GWP 20a** y **Greenhouse Gas Protocol V1.02**, que permiten cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a cada proceso involucrado en ambas modalidades educativas.

3. Fases del Estudio

Se han analizado los siguientes procesos clave que contribuyen a la huella de carbono:

3.1. Acondicionamiento térmico de los recintos

- ▶ Formación presencial: se evaluó el consumo energético de aulas universitarias con capacidad para 30 alumnos. Se determinó que el consumo energético para calefacción y refrigeración es de aproximadamente 115 kWh/mes por aula.
- ▶ Formación online: se analizó el acondicionamiento térmico de habitaciones individuales de estudiantes, con un consumo de 12 kWh/mes.

Resultados:

- ▶ Considerando la unidad funcional de un **recinto**, las aulas generan más emisiones de CO₂ debido a su mayor tamaño y consumo energético.
- ▶ Sin embargo, al evaluar por **alumno**, las emisiones por habitación individual son mayores debido a que el consumo energético no se distribuye entre varios estudiantes.

3.2. Iluminación

- ▶ **Aulas universitarias:** se calcularon **38.4 kWh/mes** de consumo energético para iluminación, con emisiones de **0.621 kg CO₂ equivalente** por recinto.
- ▶ **Habitaciones individuales:** se estimó un consumo de **4.8 kWh/mes**, con emisiones de **0.093 kg CO₂ equivalente** por recinto.

Resultados:

- ▶ A nivel de **recinto**, las aulas universitarias presentan mayores emisiones debido a su mayor área a iluminar.
- ▶ Sin embargo, por **alumno**, las emisiones son más altas en la formación online, ya que cada estudiante es responsable del consumo de su propio espacio.

3.3. Ventilación

- ▶ Se evaluó la cantidad de energía necesaria para la ventilación de los recintos formativos, tomando en cuenta los sistemas de renovación de aire.
- ▶ En aulas formativas, el volumen de aire renovado por hora es de **960 m³**, lo que implica un consumo energético significativo.

Resultados:

- ▶ La ventilación en aulas tiene un impacto ambiental mayor cuando se evalúa a nivel global, pero el impacto por alumno es menor en comparación con la formación online.

3.4. Uso de papel y material impreso

- ▶ **Formación presencial:** mayor consumo de papel y material impreso, lo que conlleva emisiones significativas asociadas a la producción y transporte de estos materiales.
- ▶ **Formación online:** menor consumo de papel, pero mayor dependencia de dispositivos electrónicos.

Resultados:

- ▶ La educación presencial genera una mayor cantidad de residuos físicos (papel, plásticos), mientras que la formación online depende de recursos digitales con una huella ambiental significativa por la fabricación y uso de equipos electrónicos.

3.5. Equipos electrónicos y consumo energético

- ▶ **Ordenadores portátiles y de escritorio:** se analizaron las emisiones derivadas del uso de computadoras, proyectores y otros dispositivos electrónicos en ambas modalidades.
- ▶ **Infraestructura digital:** se consideraron los centros de datos y servidores necesarios para el funcionamiento de las plataformas online.

Resultados:

- ▶ La formación online requiere un menor uso de infraestructura física, pero depende de servidores y redes que consumen energía de forma continua.
- ▶ La educación presencial, aunque utiliza más dispositivos compartidos, sigue generando un impacto ambiental elevado.

3.6. Transporte

- ▶ **Formación presencial:** el desplazamiento de alumnos y docentes es uno de los mayores factores de emisión de CO₂, con un impacto significativo en términos de combustibles fósiles.
- ▶ **Formación online:** al eliminar los desplazamientos, reduce una de las principales fuentes de emisiones de CO₂.

Resultados:

- ▶ El transporte representa la principal ventaja de la formación online en términos de reducción de huella de carbono.
- ▶ La formación presencial tiene una huella de carbono elevada debido al uso de vehículos privados y transporte público.

4. Conclusiones

1. **Impacto ambiental general:** la formación online presenta una huella de carbono inferior en términos de emisiones globales, principalmente por la reducción del transporte y el menor uso de infraestructuras físicas.
2. **Consumo energético:** mientras que la educación presencial demanda un alto consumo de energía en edificios, climatización e iluminación, la formación online depende del uso intensivo de dispositivos electrónicos y servidores.
3. **Transporte y movilidad:** la eliminación de desplazamientos en la formación online representa la mayor diferencia en términos de reducción de emisiones de CO₂.
4. **Comparación por alumno vs. por recinto:**
 - A nivel **global o sobre el recinto académico**, la educación presencial es absolutamente más contaminante.
 - A nivel **individual (por alumno)**, la formación online sigue manteniendo una huella muy notablemente inferior a la modalidad presencial, aun habiendo considerado siempre los escenarios más favorables para la presencialidad y los más perniciosos para la formación online.

5. Conclusión Final

Como conclusión más relevante y definitiva se puede inferir que las emisiones de CO₂ producidas en total por alumno, se reducen en la formación online hasta un 79% de las producidas por el mismo alumno en la formación presencial. Dicho de otra manera, cada estudiante matriculado en formación presencial emite 4 veces más emisiones de CO₂ que si se formara en la modalidad online.

Por tanto, la educación online constituye una herramienta importantísima en la reducción de emisiones de efecto invernadero.

INFORME TÉCNICO AMBIENTAL.

ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL COMPARATIVO ENTRE LA FORMACIÓN PRESENCIAL Y LA FORMACIÓN EN REMOTO: HUELLA DE CARBONO COMO CATEGORÍA DE IMPACTO DE AMBOS TIPOS

1. Introducción

El análisis del ciclo de vida de un producto o proceso es una herramienta fundamental en la evaluación de su impacto ambiental. A través de este tipo de análisis, es posible medir con precisión los efectos ambientales asociados a una amplia variedad de estos. En este informe, se explorará en qué consiste un análisis de ciclo de vida, el objetivo de estudio, la metodología utilizada y los principales criterios a tener en cuenta según los estándares internacionales establecidos en la norma ISO 14040.

Esta técnica se utiliza para evaluar de manera cuantitativa el impacto ambiental de un producto o proceso a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida, que incluye desde la obtención de materias primas hasta su disposición final. El término “de la cuna a la tumba” suele emplearse para describir el alcance de estos estudios, abarcando desde la extracción de los recursos (“cuna”) hasta su eliminación (“tumba”). En este caso específico, no se ha incluido la etapa de disposición final de los procesos evaluados.

El análisis realizado permitirá determinar la huella de carbono como categoría de impacto afectada por el estudio correspondiente a una unidad funcional predeterminada para cada uno de los diferentes procesos considerados en él. El valor numérico de huella de carbono obtenido puede asociarse a una marca, a un producto, etc. De esta manera, se puede calcular y asignar el valor de CO₂ tanto de forma global como individual para cada proceso o servicio considerado, cumpliendo siempre con los estándares internacionales desde el principio.

Al finalizar el análisis, se detallarán las fases del proceso, exponiendo las variables consideradas, los supuestos establecidos y los resultados obtenidos.

Para abordar una comparativa medioambiental entre la formación presencial y la formación online, es fundamental contextualizar el impacto que ambos enfoques educativos tienen en el entorno. Con la creciente preocupación mundial por el cambio climático, la degradación ambiental y la sobreexplotación de recursos naturales, el sistema educativo no escapa a la necesidad de adaptarse hacia prácticas más sostenibles. Este análisis se centra en explorar cómo cada modalidad influye en la sostenibilidad, atendiendo tanto a la huella ecológica que generan como a las oportunidades que ofrecen para la reducción del impacto ambiental.

1.1. Evolución de la educación y contexto ambiental

La educación ha pasado por diversas transformaciones, desde la enseñanza presencial tradicional hasta el auge de la formación online impulsada por avances tecnológicos. Desde la perspectiva ambiental, este cambio se ha acentuado en la última década, cuando el acceso a internet, la masificación de dispositivos electrónicos y el crecimiento del aprendizaje virtual han permitido que muchas personas se formen a distancia. En paralelo, el cambio climático y la crisis medioambiental han reconfigurado la forma en que los sistemas educativos deben operar para alinearse con los objetivos de sostenibilidad.

Este contexto ha puesto de manifiesto una cuestión central: ¿Qué modalidad de educación, presencial u online, genera menor impacto en términos de emisiones de carbono, uso de recursos y generación de residuos? Ambos tipos de formación presentan ventajas y desafíos en cuanto a su sostenibilidad, desde la infraestructura necesaria hasta los hábitos de consumo energético y el uso de materiales.

1.2. La formación presencial y su huella ambiental

En la educación presencial, los centros educativos consumen recursos significativos, desde la energía necesaria para el funcionamiento de edificios, la calefacción, refrigeración e iluminación, hasta los materiales de construcción y mantenimiento. Además, el desplazamiento diario de estudiantes, profesores y personal administrativo representa una de las fuentes más destacadas de emisiones de CO₂. Diversos estudios indican que los viajes en automóvil y el uso del transporte público para llegar a las instituciones educativas contribuyen a un porcentaje considerable de la huella de carbono de la educación presencial.

Por otro lado, la educación presencial implica una serie de prácticas que pueden generar residuos sólidos y el consumo de materiales no reciclables. Ejemplos comunes incluyen el uso de papel y otros suministros que suelen utilizarse para tareas de evaluación, material didáctico y equipamiento escolar. Esto se traduce en un impacto considerable sobre la deforestación, el consumo de agua y la emisión de residuos.

No obstante, también se ha argumentado que la educación presencial puede, en algunos casos, fomentar un entorno de mayor conciencia ambiental a través de la interacción directa y la creación de una cultura institucional de sostenibilidad. Algunas instituciones educativas han implementado programas de reciclaje, gestión eficiente de energía y campañas de concienciación ambiental, que pueden influir en los hábitos de los estudiantes.

1.3. Formación online y su impacto medioambiental

La modalidad online se presenta como una alternativa potencialmente más sostenible. Al eliminar o reducir significativamente el desplazamiento de estudiantes y docentes, la educación a distancia reduce una de las fuentes de emisiones de CO₂ más significativas de la educación presencial. Además, no es necesario mantener grandes infraestructuras físicas, lo que disminuye el consumo de energía y recursos asociados.

Sin embargo, la educación en remoto también tiene una huella ambiental notable, especialmente vinculada a la tecnología. La producción, distribución y desecho de dispositivos electrónicos, como ordenadores y teléfonos móviles, contribuyen a la extracción de recursos y la generación de residuos electrónicos. Asimismo, la infraestructura digital, incluyendo centros de datos y redes de telecomunicaciones, requiere grandes cantidades de energía y agua para su funcionamiento y enfriamiento, lo cual aumenta las emisiones de carbono y el consumo de recursos naturales.

Otro aspecto a considerar es la energía requerida para operar dispositivos durante largas sesiones de clases online y la conectividad. El consumo energético, aunque menor que el de una institución educativa en su conjunto, sigue siendo significativo, especialmente si la formación a distancia se realiza a gran escala. No obstante, algunos estudios han destacado que, si se gestiona de manera eficiente, la educación en línea tiene el potencial de ser una modalidad menos intensiva en términos de recursos, lo cual resulta ventajoso para la reducción de la huella ecológica.

1.4. Factores de comparativa medioambiental

Para establecer una comparativa medioambiental entre ambas modalidades educativas, se deben considerar varios factores:

1. **Emisiones de carbono:** incluye el impacto de los desplazamientos, el uso de energía en infraestructuras y el consumo energético de los dispositivos.
2. **Consumo de materiales y recursos:** evalúa el papel, los dispositivos electrónicos y otros insumos necesarios para cada modalidad.
3. **Gestión de residuos:** analiza el volumen de residuos físicos (papel, plásticos) y electrónicos generados por cada sistema.
4. **Conciencia y educación ambiental:** examina cómo cada modalidad puede fomentar o limitar la conciencia y el compromiso de los estudiantes hacia prácticas sostenibles.

2. Objetivo del estudio

En función de los requerimientos expresados por la asociación ANCYPEL, se realiza un estudio medioambiental enfocado hacia el análisis de la huella de carbono como categoría de impacto influyente en las modalidades de formación presencial y online.

Antes de considerar la metodología utilizada, conviene comentar, de forma breve, algunas definiciones que son necesarias para entender este informe:

- ⇒ **Huella de carbono:** indicador que permite valorar cuantitativamente la emisión de gases de efecto invernadero verificables en un proceso determinado. Este indicador se expresa en unidades (kg CO₂ equivalente).
- ⇒ **Análisis de Ciclo de Vida:** herramienta metodológica que permite analizar todos los elementos que intervienen en cualquier proceso o sistema.
- ⇒ **Unidad funcional:** unidad de cálculo y elemento al que se refiere la huella de carbono, por ej., kg. de producto, etc.
- ⇒ **GEI:** gases de Efecto Invernadero, son aquellos que contribuyen al Calentamiento Global, cada uno de ellos tiene una equivalencia establecida en CO₂, como muestra la siguiente tabla:

Gases de Efecto Invernadero (GEI)		Equivalencia en CO ₂ (CO ₂ e) de una medida de gas
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido Nitroso	N ₂ O	310
Hidrofluorocarbonos	HFC	740
Perfluorocarbonos	PFC	1.300
Hexafluoruro de azufre	SH ₆	23.900

Tabla 1: Relación de los principales gases de efecto invernadero y su correspondiente equivalencia en Kg CO₂ equivalente

- ⇒ **Toxicidad carcinogénica:** consiste en la evaluación de los posibles impactos negativos sobre la salud humana derivados de la exposición a sustancias cancerígenas a lo largo del ciclo de vida de un producto o proceso. Estas sustancias son aquellas que tienen el potencial de causar cáncer en seres humanos.

En el contexto del ACV, se evalúa cómo y en qué cantidad se liberan al medioambiente estos compuestos peligrosos durante las diferentes etapas del ciclo de vida del producto, que incluyen la extracción de materias primas, la producción, el uso, el transporte y la disposición final. El objetivo es cuantificar el riesgo de que estas sustancias entren en contacto con las personas, ya sea a través del aire, el agua o el suelo.

La toxicidad carcinogénica se evalúa considerando factores como:

- Tipo y cantidad de sustancias cancerígenas emitidas.
- Medio de emisión (aire, agua, suelo).
- Vías de exposición (inhalación, ingestión, contacto cutáneo).
- Población expuesta (trabajadores, consumidores, comunidades cercanas).

El análisis toma en cuenta modelos científicos que relacionan la dosis de exposición con la probabilidad de desarrollar cáncer, lo que permite calcular el impacto potencial sobre la salud humana a lo largo del ciclo de vida del producto. Este aspecto es crucial para la toma de decisiones que persiguen minimizar los riesgos para la salud y reducir el uso de sustancias carcinógenas en procesos industriales.

La toxicidad carcinogénica se suele medir en términos de Kg 1,4 DCB/Kilo.

- ⇒ **Toxicidad no carcinogénica:** al igual que en el caso anterior, consiste en la evaluación de los impactos negativos sobre la salud humana causados por la exposición a sustancias químicas que no provocan cáncer, pero que pueden generar otros efectos adversos en el organismo, como daños en el sistema respiratorio, nervioso, endocrino, entre otros.

La toxicidad no carcinogénica se analiza considerando aspectos como:

- Tipo y cantidad de sustancias tóxicas emitidas.
- Medio de liberación (aire, agua, suelo).
- Vías de exposición (inhalación, ingestión, contacto con la piel).
- Grado de exposición (frecuencia, concentración de la sustancia).
- Poblaciones afectadas (trabajadores, usuarios del producto, comunidades cercanas).

Los efectos no carcinogénicos pueden incluir daños al hígado, riñones, pulmones, sistema nervioso central y otras funciones vitales. En el ACV, se utilizan modelos toxicológicos para estimar los impactos sobre la salud humana en función de la dosis y la duración de la exposición a estas sustancias. Al igual que la toxicidad carcinogénica, la no carcinogénica se suele medir en términos de Kg 1,4 DCB/Kilo.

El objetivo es identificar los riesgos potenciales y reducir la exposición a compuestos tóxicos a lo largo de las diferentes fases del ciclo de vida del producto o sistema, promoviendo decisiones más sostenibles y seguras para la salud humana.

⇒ **Escasez de recursos minerales:** esta categoría de impacto se refiere a la evaluación del agotamiento o reducción de la disponibilidad de recursos minerales y metales no renovables utilizados en la producción de un producto o esté relacionado con un servicio. Esta categoría de impacto mide la presión que el consumo de estos recursos genera sobre las reservas disponibles, considerando que son finitos y no se regeneran en escalas de tiempo humanas.

En el contexto del ACV, esta categoría tiene como objetivo cuantificar el impacto del uso de minerales y metales (como el cobre, el aluminio, el hierro, el oro, etc.) a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, desde la extracción de las materias primas hasta la disposición final. El análisis incluye:

- Extracción de recursos minerales y metálicos de la tierra.
- Disponibilidad futura de estos recursos.
- Consecuencias ambientales de la explotación minera (como la degradación del ecosistema y el uso intensivo de energía).
- Sustitución y reciclaje: también se consideran las posibilidades de sustituir o reciclar esos recursos para reducir su agotamiento.

La escasez de recursos minerales se suele medir en términos de kg de cobre equivalente (kg Cu-eq), lo que permite comparar el impacto de diferentes minerales en función de su abundancia y dificultad de extracción.

El objetivo de incluir esta categoría en el ACV es fomentar el uso más eficiente y sostenible de los recursos minerales, minimizando su agotamiento y promoviendo prácticas que favorezcan el reciclaje y la reducción del consumo de materias primas vírgenes.

3. Metodología

Una ventaja significativa de este estudio es que permite detectar situaciones en las que un sistema en particular puede parecer “más limpio” que otro simplemente porque transfiere las cargas ambientales a otros procesos o regiones geográficas, sin lograr una mejora real desde una perspectiva global.

La familia de normas ISO 14000 incluye el ACV en su serie 14040, la cual se utiliza para evaluar los impactos ambientales a lo largo de toda la vida de un producto o servicio, considerando todas las etapas que conforman su ciclo de vida. Por otro lado, La norma ISO 14044 busca estandarizar la forma en que se realizan análisis de ciclo de vida de un producto. Esto es de mucha utilidad cuando se busca comparar distintos estudios de ciclo de vida.

Es fundamental comprender que, al realizar un análisis de ciclo de vida, es necesario tener conocimiento sobre las diversas categorías de impacto ambiental que permiten enfocarse en un impacto específico y, de esta manera, facilitar la comparación entre diferentes productos. No es preciso afirmar que un producto es “ambientalmente peor” que otro a menos que se realice la comparación dentro de la misma categoría.

Un ACV puede utilizar diferentes metodologías en función de la profundidad del estudio que se pretenda realizar y hacia dónde se pretenda enfocar. De esta manera, el estudio puede enfocarse hacia:

- ▶ **Punto medio (Midpoint):** analiza los efectos intermedios del impacto ambiental sobre las categorías de impacto seleccionadas en forma y localización.
- ▶ **Punto final (Endpoint):** se realiza un análisis de la consecuencia final del impacto hacia diferentes áreas de protección que representan variables que influyen a escala global.

En este caso de estudio se ha optado por dos metodologías que permiten cuantificar las emisiones de CO₂ desde diferentes ámbitos y para cada uno de los aspectos considerados que influyen directamente en las emisiones comentadas. Por ello, a petición de la asociación ANCYPEL se ha optado por elegir como metodologías las conocidas como IPCC 2013 GWP 20a V1.03 y Greenhouse Gas Protocol V1.02.

Respecto a las fases referidas a la metodología considerada en el estudio se realizará una caracterización como indicador y una evaluación del impacto expresadas en los gráficos aportados y que se definen como:

- ▶ **Caracterización:** lo que pretende esta fase es conseguir indicadores de categoría de impacto partiendo de cargas ambientales ya catalogadas. Se utilizan factores de caracterización, lo que significa que se emplean términos equivalentes que posibilitan relacionar las distintas cargas ambientales de categorías de impacto iguales a una medida única, atendiendo a consecuencias que se pueden cuantificar. Después de llevar a cabo la caracterización, se obtiene el perfil ambiental. Se puede afirmar que la caracterización consiste en calcular cómo contribuye potencialmente un elemento singular observado en el análisis de inventario a una consecuencia de tipo ambiental.
- ▶ **Evaluación del daño:** mediante esta fase se toman los resultados del análisis de impactos y se transforman en términos comprensibles, enfocados hacia el daño que causan a los sistemas naturales y humanos, facilitando la toma de decisiones sobre la sostenibilidad de productos o procesos. En esta fase se agrupan los impactos según categorías de daño más globales y relevantes y en este estudio se han enfocado hacia el cambio climático mediante el cálculo de la huella de carbono.

Para entender el estudio que se llevará a cabo es conveniente conocer las dos metodologías consideradas.

3.1. Metodología IPCC 2013 GWP 20a

Esta metodología es un enfoque desarrollado para calcular el Potencial de Calentamiento Global (Global Warming Potential, GWP) en un período de tiempo de 20 años. Es utilizada en el análisis de ciclo de vida para evaluar los impactos ambientales asociados con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y se basa en el Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), publicado en 2013. Proporciona los factores de caracterización de GWP para diferentes gases de efecto invernadero. Estos factores indican cuántas veces un gas específico contribuye al calentamiento global en comparación con el dióxido de carbono (CO₂).

El término potencial de calentamiento global mide la capacidad de un gas de atrapar calor en la atmósfera durante un período determinado en comparación con el CO₂ y se utiliza como un indicador común para comparar diferentes gases de efecto invernadero. En este caso, se evalúa el impacto climático de los GEI en un horizonte temporal más corto (20 años), lo que destaca los efectos inmediatos de gases con vidas útiles más cortas, como el metano (CH₄).

La aplicación de esta metodología en un análisis de ciclo de vida se utiliza para:

- ⇒ Caracterizar las emisiones de GEI: se traduce la cantidad de cada gas emitido (por ejemplo, CO₂, CH₄, N₂O) a un valor común denominado "equivalente de CO₂" (CO₂ equivalente).
- ⇒ Evaluar impactos climáticos: el impacto global del sistema evaluado se presenta en términos de CO₂ equivalente considerando el horizonte de 20 años.
- ⇒ Comparar alternativas: permite analizar diferentes opciones de diseño, materiales o procesos para reducir el impacto climático.

Esta metodología está integrada en la herramienta computacional SimaPro y permite realizar cálculos automatizados en función de bases de datos de emisiones e inventarios ambientales.

3.2. Metodología Greenhouse Gas Protocol V1.02

Esta metodología es un marco reconocido internacionalmente para contabilizar y reportar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en diversos contextos, incluida su integración en el análisis de ciclo de vida. Esta metodología ofrece directrices para medir, gestionar y reducir las emisiones de GEI asociadas con actividades, productos y cadenas de suministro.

En el contexto de un análisis de ciclo de vida, esta metodología permite:

- ⇒ Evaluar el impacto climático: traducir las emisiones de diferentes GEI en un valor común llamado equivalente de CO₂ (CO₂ equivalente).
- ⇒ Identificar puntos críticos: determinar las etapas del ciclo de vida (por ejemplo, fabricación, transporte, uso o disposición) con mayores emisiones.
- ⇒ Comparar alternativas: comparar el impacto de diferentes productos, materiales o tecnologías en términos de emisiones de GEI.

Aunque similar a enfoques como el IPCC 2013 GWP, el GHG Protocol tiene un enfoque más amplio y práctico, ya que no solo proporciona factores de caracterización para calcular impactos, sino también directrices para la contabilización organizacional, la gestión de datos y la integración en sistemas corporativos.

Tomando en consideración los aspectos anteriores, la estructura del Análisis del Ciclo de Vida comprende cuatro etapas fundamentales:

- ⇒ Definición de objetivo y Alcance: esta etapa del proceso/servicio/actividad se inicia definiendo los objetivos globales del estudio, donde se establecen la finalidad del estudio, el producto implicado, hacia quién se dirige, el alcance o magnitud del estudio (límites del sistema), la Unidad Funcional, los datos necesarios y el tipo de revisión crítica que se debe realizar.
- ⇒ Análisis de Inventario: el ACV de un producto/servicio es una serie de procesos y sistemas conectados por su finalidad común de creación del producto. El análisis de inventario es una lista cuantificada de todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son extraídos del ambiente natural o bien emitido hacia él, calculando los requerimientos energéticos y materiales del sistema, así como las emisiones producidas en cada uno de los procesos y sistemas.
- ⇒ Evaluación de Impactos: una vez obtenida la tabla de datos del análisis de Inventario, se realiza una clasificación y evaluación de los resultados del inventario, y se relacionan sus resultados con los efectos ambientales observables.
- ⇒ Interpretación de Resultados: los resultados de las fases precedentes son evaluados juntos, de modo congruente con los objetivos definidos para el estudio, a fin de establecer las conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones.

El ACV no sigue una regla fija, no hay una única manera de realizar una evaluación de este tipo, al contrario, tiene varias alternativas, y por lo tanto se debe estar familiarizado con métodos científicos de investigación, análisis de procesos y con sistemas de gestión de calidad.

La metodología del ACV es de carácter dinámico, y las cuatro etapas en las que se realiza están relacionadas entre ellas, por lo que a medida que se obtienen resultados, se pueden modificar o mejorar los datos, las hipótesis, los límites del sistema o los objetivos, lo cual exige el recálculo. Este hecho, más la cantidad de datos históricos que se deben poseer para realizar un ACV, demuestra la necesidad de contar con esta herramienta informática.

4. Herramienta computacional utilizada

Para el cálculo de las categorías de impacto requeridas, se ha utilizado la herramienta computacional SimaPro, que está basada en la metodología desarrollada en el apartado anterior y sirve tanto para Productos como para Procesos involucrados en el estudio.

Esta herramienta informática permite crear simulaciones, comparar versiones de entornos y generar estadísticas e informes, con una potente base de datos que almacena los factores de emisión y calcula de forma precisa la huella de carbono de productos/procesos y los organiza.

5. Fases del estudio

Atendiendo a lo anterior, se procede a desarrollar la estructura seguida en la evaluación medioambiental de los tipos de formación a estudio. Para ello se explican los diferentes pasos seguidos y ajustados a nuestro informe:

- ▶ **Fase 0:** definición del objetivo y alcance: En esta etapa se realizan los siguientes procedimientos:
 - ⇒ Objetivo del análisis: cálculo de la huella de carbono, como categoría de impacto principal y toxicidad humana carcinogénica, no carcinogénica y escasez de recursos minerales como categorías secundarias de cada una de las modalidades formativas consideradas en el estudio.
 - ⇒ Unidad funcional: dentro de las dos modalidades de formación existen diferentes aspectos a considerar. De forma general, se parte de una unidad denominada como producto para cada uno de los tipos formativos. Dentro de cada uno se han considerado diferentes unidades dependiendo de los procesos y productos que influyen en cada uno de los tipos.
 - ⇒ Alcance del sistema: para el estudio se considera como etapas de producto aquellos materiales y procesos involucrados desde la adquisición de materias primas y procesos de manufactura hasta su disposición final sin tener en cuenta la etapa correspondiente al reciclaje.
 - ⇒ Limitaciones del estudio: se realiza un análisis individualizado de cada material y proceso involucrado para las categorías de impacto considerado sin tener en cuenta la influencia del resto de ellas. No se han considerado aspectos como el mantenimiento de las infraestructuras ni los recursos humanos implicados en ambas modalidades.
- ▶ **Fase I:** análisis de inventario: en esta fase, se identifican las entradas y salidas en cada una de las etapas. Para ello, se recopilan de datos de los principales materiales y procesos involucrados en cada una de las etapas del ciclo de vida de cada modalidad formativa. También, se indica cuándo y de dónde se extraen los datos del estudio.

Según la norma ISO 14044, los datos obtenidos se clasifican en: las entradas de energía, entradas de materia prima, entradas auxiliares, otros tipos de entradas físicas.

Productos, coproductos y desechos, emisiones al aire, vertidos al agua y al suelo, y otros aspectos ambientales.

Atendiendo a lo anterior, se han considerado para la elaboración del inventario los siguientes aspectos más influyentes en el presente estudio y que corresponden a:

- ⇒ Proceso de acondicionamiento térmico de los recintos implicados en ambas modalidades formativas.
- ⇒ Proceso de iluminación de recintos necesario para la realización de las actividades académicas.
- ⇒ Proceso de ventilación en aulas o habitaciones.
- ⇒ Utilización de recursos materiales destinados a la impresión de los contenidos formativos en ambas modalidades.
- ⇒ Equipos informáticos, reprográficos y periféricos íntimamente ligados al desempeño de las diferentes actividades.
- ⇒ Influencia del transporte y desplazamiento sobre el impacto originado sobre las modalidades formativas consideradas.

- ▶ **Fase II:** evaluación de impacto ambiental: en esta fase se recopilan todos los datos de entradas, salidas e indicadores obtenidos en las etapas anteriores. Una vez realizado, se han seleccionado las categorías de impacto ambiental necesarias para el estudio. Posteriormente, se identifican las entradas y salidas que corresponden a los indicadores seleccionados a través de las categorías de impacto elegidas.
- ▶ **Fase III:** interpretación de los resultados: atendiendo a la norma ISO 14044 y una vez obtenidos los resultados, se realiza una discusión de ellos en función de los diferentes análisis realizados.

Una vez explicadas las diferentes fases que se realizan en el estudio se procede al desarrollo de las tres últimas para conocer en profundidad las condiciones y situaciones que se han considerado previo a la obtención de los resultados que se obtendrán mediante la realización del ACV.

En base a ello se justificará cada uno de los puntos comentados en la Fase I mediante la consideración de una serie de supuestos que permiten dirigir el estudio de forma evidente para la comparativa entre las dos modalidades formativas.

5.1. Proceso de acondicionamiento térmico de los recintos implicados en ambas modalidades formativas

En este proceso se ha considerado la energía necesaria para acondicionar la temperatura en los recintos utilizados para desempeñar las actividades académicas en ambas modalidades formativas. Se ha considerado como unidad funcional un recinto de dimensiones determinadas para la realización de cada modalidad formativa refiriendo las emisiones de CO₂ a la cantidad de energía necesaria para la realización de la actividad.

Los cálculos realizados son los siguientes:

5.1.1. Energía necesaria para el acondicionamiento térmico de un aula de centro formativo (para un supuesto de 30 alumnos por aula)

El cálculo de la energía necesaria para calentar un aula de un centro destinado a la formación depende de varios factores como el tamaño del aula, el aislamiento térmico, la temperatura exterior e interior deseada, entre otros. Sí se considera un enfoque general para calcularlo.

Parámetros considerados:

1. **Volumen del aula:** necesitamos las dimensiones del aula (largo, ancho, y alto) para calcular el volumen total de aire que se va a calentar.
2. **Temperatura inicial y final:** la diferencia entre la temperatura actual y la temperatura deseada dentro del aula.
3. **Materiales y aislamiento:** las propiedades de aislamiento del aula, las pérdidas de calor a través de paredes, ventanas, techos, etc.
4. **Tipo de sistema de calefacción:** cada sistema tiene una eficiencia diferente.

Independientemente de lo anterior, se debe tener en cuenta que el aula de formación presencial no es un elemento aislado, sino que se encuentra dentro de un edificio con el que comparte zonas comunes como podrían ser la recepción, los pasillos, los W.C., área de vending, ascensores...etc. Dichas zonas, que deben estar adecuadamente iluminadas y climatizadas, exceden con mucho la superficie de un aula de formación.

Sin embargo, al tratarse de áreas comunes, estas se comparten con otras aulas de formación, motivo por el cual los gastos energéticos no pueden asignarse de forma exclusiva a un aula en particular. Por esta razón y para aproximarse a los valores reales, se optará por incrementar el consumo energético un 20% de su valor final estimado para un aula tipo considerada.

El cálculo de la energía necesaria se realiza a partir de los parámetros considerados de la siguiente manera.

Ecuación básica para el cálculo:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Donde:

- Q es la energía necesaria (en julios)
- m es la masa de aire en el aula (en kg)
- c es el calor específico del aire, aproximadamente 1.005 J/kg °C
- ΔT es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (en °C).

Pasos seguidos para el **cálculo**:

1. **Volumen del aula:** cálculo del volumen del aula en metros cúbicos (m³).
2. **Masa de aire:** para conocer la masa de aire, se multiplica el volumen del aula por la densidad del aire (la densidad del aire a temperatura ambiente es aproximadamente 1,2 kg/m³).

$$M = V \times \rho_{\text{aire}}$$

Donde:

- M es la masa de aire en el aula (en kg)
 - V es el volumen del aula (m³)
 - ρ_{aire} es la densidad del aire (kg/m³)
3. **Cálculo de energía:** utilizando la ecuación básica, $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

En nuestro caso de estudio se ha considerado un aula con las siguientes características:

- Dimensiones: 10 m de largo, 8 m de ancho, 3 m de alto.
- Temperatura exterior: 10° C
- Temperatura deseada interior: 22° C

1. Volumen del aula:

$$\text{Volumen} = 10 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 240 \text{ m}^3$$

2. Masa de aire:

$$M = 240 \text{ m}^3 \times 1.2 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg}$$

3. Diferencia de temperatura:

$$\Delta T = 22 \text{ °C} - 10 \text{ °C} = 12 \text{ °C}$$

Cálculo de la energía:

$$Q = 288 \text{ kg} \times 1.005 \text{ J/kg} \times 12 \text{ °C} = 3.472.320 \text{ J} = 3,47 \text{ MJ}$$

Conversión de la energía a kilovatios-hora (kWh):

Los sistemas de calefacción normalmente se miden en kilovatios-hora (kWh), por lo que convertimos la energía de julios a kWh:

$$1 \text{ kWh} = 3.600.000 \text{ J}$$



$$Q = \frac{3.472.320 \text{ J}}{3.600.000 \text{ J/kWh}} \approx 0,96 \text{ kWh} + 20\% \text{ incremento} \approx 1,15 \text{ kWh}$$

Otros factores a considerar:

- Pérdidas de calor: las pérdidas a través de paredes y ventanas pueden aumentar la energía necesaria.
- Calefacción continua: si el aula está ocupada durante varias horas, se deberá seguir proporcionando energía para mantener la temperatura.

Si se considera que el sistema de calefacción se usa durante 5 horas al día, de lunes a viernes para mantener la temperatura en la habitación, el consumo diario será aproximadamente:

$$1,15 \text{ kWh} \times 5 \text{ horas} = 5,75 \text{ kWh/día}$$

$$5,75 \text{ kWh/día} \times 20 \text{ días} = 115 \text{ kWh/mes}$$

En base a lo anterior, podemos concluir que:

- ⇒ Para un aula de centro formativo con un volumen de 240 m³, se necesitan aproximadamente 0,96 kWh para elevar la temperatura del aire en 12 °C.
- ⇒ Si la calefacción se usa durante 5 horas diarias, el consumo sería de 5,75 kWh por día, o 115 kWh al mes, sin considerar pérdidas de calor y eficiencia del sistema.

Este cálculo básico es una estimación que puede ajustarse según las características específicas del aula y las condiciones externas.

5.1.2. Energía necesaria para el acondicionamiento térmico de una habitación de estudiante para la formación e-learning

Para calcular la energía necesaria para calentar un recinto de estudiante e-learning, se ha utilizado un enfoque similar al utilizado para el aula de centro formativo, pero adaptado a las dimensiones de una habitación típica y las condiciones específicas del espacio.

Parámetros importantes:

1. **Dimensiones de la habitación:** necesitamos conocer el tamaño (largo, ancho y alto).
2. **Temperatura inicial y final:** la diferencia entre la temperatura exterior y la temperatura que se desea dentro de la habitación.
3. **Aislamiento térmico:** la calidad del aislamiento de la habitación (paredes, ventanas, techo) afecta la cantidad de energía necesaria.
4. **Eficiencia del sistema de calefacción:** cada sistema de calefacción tiene una eficiencia diferente.

Fórmula básica para el cálculo de energía: la ecuación para calcular la energía necesaria para calentar el aire de una habitación es la utilizada en el caso anterior:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Donde recordamos que:

- Q es la energía (en julios)
- m es la masa de aire en la habitación (en kg)
- c es el calor específico del aire (1.005 J/kg °C)
- ΔT es la diferencia de temperatura (en °C)

Supuestos estándar para una habitación de estudiante:

- Dimensiones: se ha considerado una habitación con las siguientes dimensiones: 4 metros de largo, 3 metros de ancho y 2,5 metros de alto.
- Temperatura exterior e interior: Supongamos que la temperatura exterior es de 10 °C y que se quiere mantener una temperatura de 22 °C en el interior.

Cálculo del volumen de la habitación:

$$\text{Volumen} = 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 30 \text{ m}^3$$

Masa de aire en la habitación:

Al igual que en el caso anterior, para el cálculo de la masa de aire de la habitación se utilizará la expresión:

$$M = V \times \rho_{\text{aire}}$$

La densidad del aire es aproximadamente 1,2 kg/m³. Por lo tanto, la masa total de aire en la habitación es:

$$M = 30 \text{ m}^3 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 36 \text{ kg}$$

Diferencia de temperatura:

$$\Delta T = 22 \text{ °C} - 10 \text{ °C} = 12 \text{ °C}$$

5. Cálculo de la energía:

$$Q = 36 \text{ kg} \times 1.005 \text{ J/kg} \times 12 \text{ °C} = 434.160 \text{ J} = 434 \text{ kJ}$$

Conversión de la energía a kilovatios-hora (kWh):

$$Q = \frac{434.160 \text{ J}}{3.600.000 \text{ J/kWh}} \approx 0,12 \text{ kWh}$$

Este es el calor inicial necesario para elevar la temperatura del aire de la habitación de 10 °C a 22 °C.

Consideraciones adicionales:

- **Pérdidas de calor:** la energía calculada es la cantidad inicial para calentar el aire, pero a lo largo del tiempo, se pierde calor a través de paredes, ventanas, techos y la frecuencia con que se abre la puerta. Por lo tanto, para mantener la temperatura, se necesita suministrar energía adicional continuamente.
- **Eficiencia del sistema de calefacción:** si el sistema de calefacción tiene una eficiencia del 80%, el consumo real de energía sería mayor (aproximadamente un 25% más).
- **Tiempo de calefacción:** si la habitación se calienta durante varias horas al día, la energía total consumida será mayor.

Si se considera que el sistema de calefacción se usa durante 5 horas al día, de lunes a viernes para mantener la temperatura en la habitación, el consumo diario será aproximadamente:

$$0,12 \text{ kWh} \times 5 \text{ horas} = 0,6 \text{ kWh/día}$$

$$0,6 \text{ kWh/día} \times 20 \text{ días} = 12 \text{ kWh/mes}$$

En base a lo anterior, podemos concluir que para una habitación de estudiante con un volumen de 30 m³, se necesitan aproximadamente 0,12 kWh para elevar la temperatura del aire en 12 °C.

Si la calefacción se usa durante 5 horas diarias, el consumo sería de 0,6 kWh por día, o 12 kWh al mes, sin considerar pérdidas de calor y eficiencia del sistema.

5.1.3. Análisis de impacto medioambiental atribuido al acondicionamiento térmico

Como se explicó anteriormente se han considerado 2 recintos diferentes para cada una de las modalidades formativas. Las características de cada uno de los recintos son iguales a las del apartado anterior con un cálculo detallado para unos supuestos estándar de superficies destinadas a tal fin.

Los valores numéricos obtenidos se expresan en kilogramos de CO₂ equivalente (kg CO₂ equiv), son una unidad de medida utilizada para expresar el impacto climático total de una mezcla de gases de efecto invernadero (GEI) en términos equivalentes al dióxido de carbono (CO₂). Este concepto permite comparar y comunicar el efecto combinado de varios gases sobre el calentamiento global, ya que cada gas tiene un potencial de calentamiento global (GWP) diferente.

La metodología utilizada para esto ha sido IPCC GWP 20a que se refiere a un parámetro utilizado para medir y comparar el potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés: Global Warming Potential) de diferentes gases de efecto invernadero (GEI) en un horizonte de 20 años, según las metodologías y cálculos presentados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

Debido a que este método lo utilizaremos a menudo en el análisis de este proyecto es necesario entender algunos conceptos:

- ▶ **IPCC:** el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático es un organismo científico internacional que evalúa el conocimiento sobre el cambio climático. Proporciona valores de referencia para el GWP en sus informes periódicos.
- ▶ **GWP (Potencial de Calentamiento Global):** es una medida que indica cuánto calor puede atrapar un gas de efecto invernadero en comparación con el dióxido de carbono (CO₂, cuyo GWP es 1 por definición) durante un período de tiempo determinado. Cuanto mayor es el GWP, mayor es el impacto relativo del gas sobre el calentamiento global.
- ▶ **A 20 años:** el horizonte temporal de 20 años es uno de los períodos utilizados para calcular el GWP (el otro común es a 100 años). Este horizonte resalta el impacto de gases que tienen un efecto más intenso, pero de corta duración en la atmósfera, como el metano (CH₄), que tiene un GWP mucho mayor en 20 años que en 100 años debido a su corta vida útil.

El enfoque en un horizonte de 20 años es relevante para abordar el cambio climático a corto plazo, particularmente en sectores como la agricultura o la producción de energía, donde los gases de corta duración juegan un papel importante. Priorizar medidas basadas en el GWP a 20 años puede ayudar a reducir rápidamente el calentamiento global, mientras se trabajan estrategias más amplias y de largo plazo.

Los valores de Kg de CO₂ equivalente para cada recinto de cada modalidad formativa se reflejan en la figura inferior mediante una serie de datos que son extrapolados a un gráfico de barras.

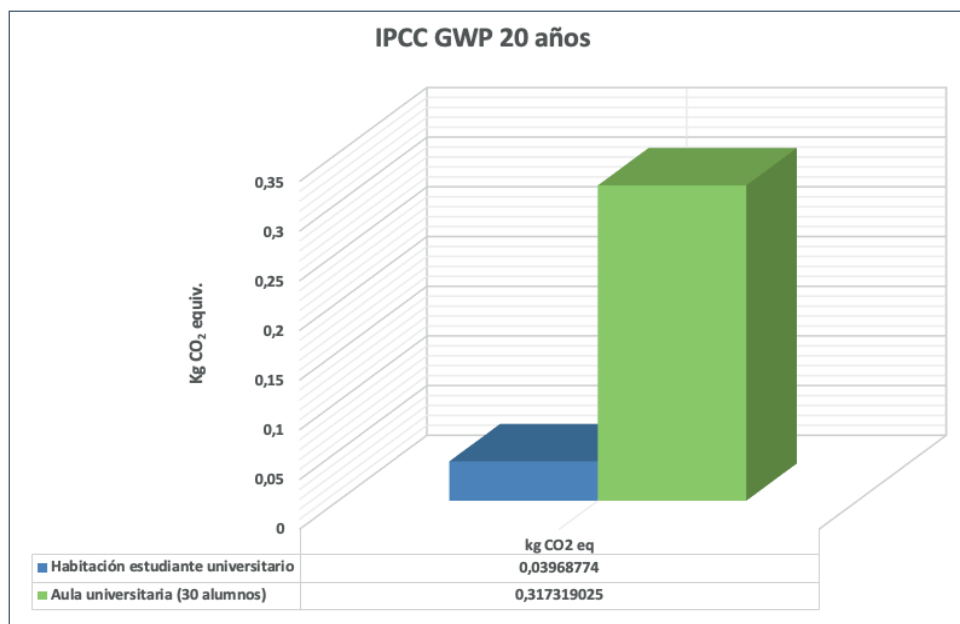


Figura 1: comparativa de emisiones de CO₂ para los recintos, expresadas en Kg CO₂ equiv. correspondientes al acondicionamiento térmico

Comentarios sobre el gráfico

Como se observa en la figura 1 y considerando como unidad funcional 1 recinto, los valores obtenidos permiten concluir que la mayor contribución de emisiones de CO₂ corresponde al aula de centro formativo. Estas emisiones son debidas a la generación energética necesaria para el acondicionamiento térmico de cada recinto y que ha sido calculada a partir de los datos anteriormente realizados.

Si se considera como unidad funcional 1 alumno en lugar de 1 recinto como en el caso anterior el resultado se invierte debido al reparto de emisiones entre el número de alumnos que comparten el recinto. Los datos obtenidos se expresan en el siguiente gráfico:

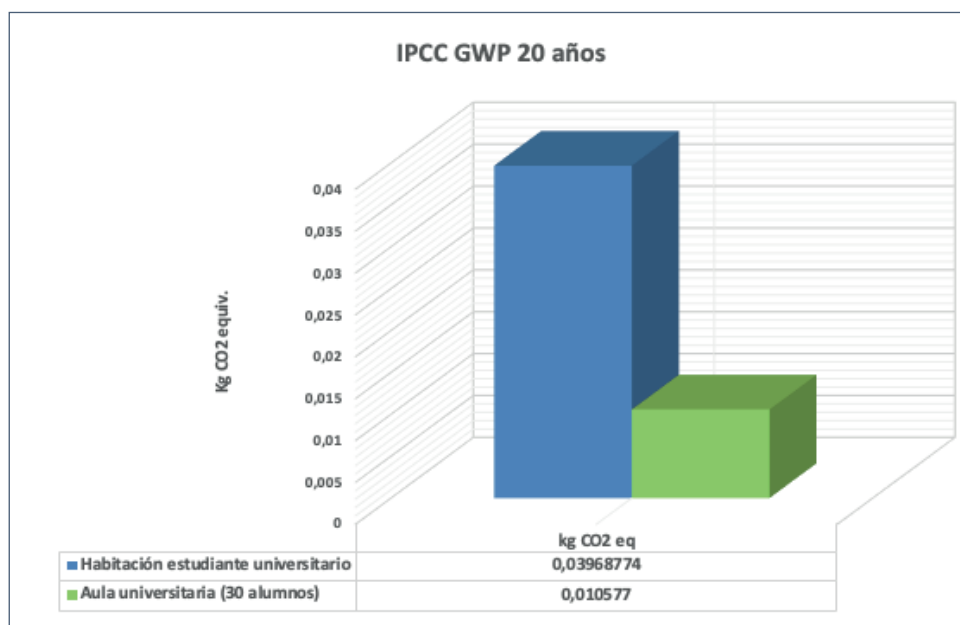


Figura 2: Comparativa de emisiones de CO₂ por alumno, expresadas en Kg CO₂ equiv. correspondientes al acondicionamiento térmico para cada recinto destinado a la formación

Comentarios sobre el gráfico

Como se observa en la figura 2 y teniendo en cuenta los valores obtenidos se puede concluir que la mayor contribución de emisiones de CO₂ corresponde a la habitación de estudiante al considerar como unidad funcional 1 alumno. Esto se debe a la distribución de emisiones de CO₂ entre los ocupantes de cada recinto formativo considerado.

Estos valores de emisiones son el resultado de la energía invertida en la climatización de las superficies consideradas. La mayor influencia sobre las emisiones de CO₂ es debida a los procesos de generación de esta energía.

Consideraciones: no se ha considerado la influencia de otro tipo de categorías de impacto no contempladas en el estudio y que serían objeto de un análisis medioambiental más extenso y no circunscrito únicamente a la huella de carbono. Por otro lado, se ha considerado una asistencia completa de alumnos al centro formativo, aunque el número promedio de asistencia es de 21 alumnos.

Para conocer las emisiones cuantitativas de CO₂ provenientes de diferentes fuentes, se ha realizado un estudio mediante la metodología Greenhouse Gas (GHG) Protocol v1.02 que es un estándar ampliamente aceptado para contabilizar y reportar emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de manera transparente y estandarizada.

Se utiliza para calcular las emisiones totales a lo largo del ciclo de vida de un producto, servicio o proceso, expresándolas en términos de CO₂ equivalente proporcionando herramientas y directrices para medir, gestionar y reportar las emisiones de GEI y abarca seis gases principales regulados bajo el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), hexafluoruro de azufre (SF₆). Hay que comentar que, en algunos casos los centros dedicados a la formación presencial utilizan combustibles fósiles para calefacción y ACS (gas natural y gasóleo) lo que supone no solo un incremento notable en las emisiones de CO₂, también NO_x, SO₂ y partículas finas que inciden negativamente en el medioambiente.

En un primer análisis se ha considerado como unidad funcional 1 recinto. Se ha realizado un análisis comparativo de ambos recintos para conocer las emisiones de CO₂ de diferente procedencia y los datos obtenidos se expresan gráficamente mediante la gráfica inferior.

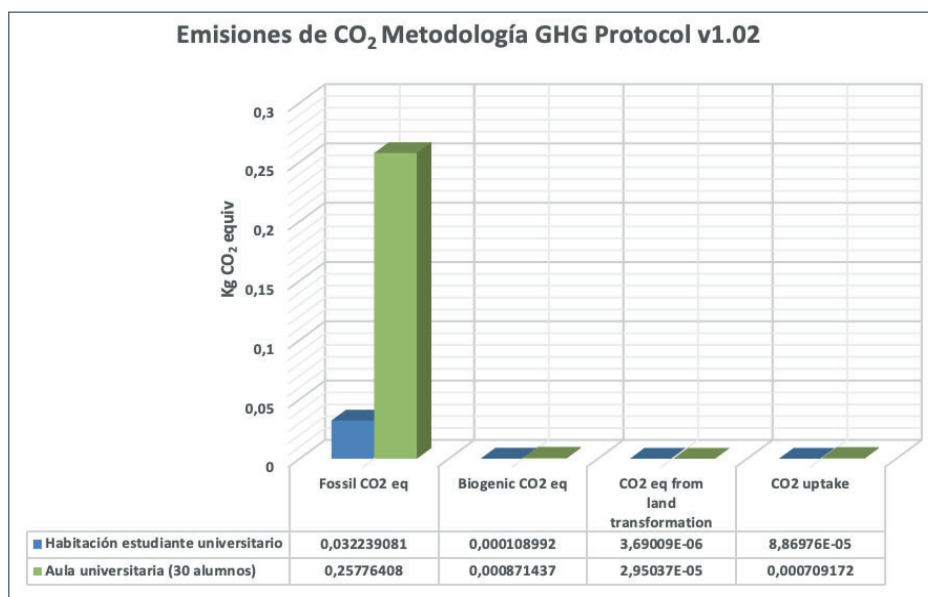


Figura 3: emisiones cuantitativas de CO₂ de diferentes orígenes en Kg CO₂ equiv. correspondientes al acondicionamiento térmico para cada recinto formativo

Comentarios sobre el gráfico

Como se ha comentado con anterioridad, las emisiones de CO₂ producidas en este proceso son debidas a los procesos de generación de energía necesaria para tal fin en cada uno de los casos mediante la metodología mencionada.

Como se observa en la figura 3, la mayor fuente de emisiones es de origen fósil y en mucha menor cantidad de origen biogénico. En la comparativa entre ambos recintos se puede comprobar que los valores correspondientes a un aula de centro formativo provocan unas emisiones muy superiores a una habitación de estudiante. Para entender la procedencia de las diferentes fuentes consideradas en el análisis es necesario realizar los siguientes comentarios:

Las emisiones de CO₂ de origen fósil son aquellas que se generan al quemar combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural. Estas fuentes contienen carbono que ha estado almacenado en la Tierra durante millones de años y cuya liberación contribuye directamente al aumento de dióxido de carbono en la atmósfera, un factor clave en el cambio climático.

Las emisiones de CO₂ de origen biogénico son aquellas emisiones de dióxido de carbono que provienen de fuentes orgánicas renovables, como plantas, biomasa o materiales derivados de estos, en contraste con las emisiones de origen fósil (como el carbón, el petróleo o el gas natural). Estas emisiones son importantes en los análisis de carbono porque tienen un impacto diferente en el ciclo global del carbono dependiendo de las circunstancias. Tienen un impacto diferente al del CO₂ fósil en el cambio climático, pero su consideración como "neutral" depende de factores como la sostenibilidad de su fuente y el manejo del ciclo de carbono.

Las emisiones de CO₂ de origen en la transformación de la tierra (*land transformation o land-use change*) se refieren a las emisiones de dióxido de carbono que ocurren cuando los ecosistemas terrestres naturales (como bosques, pastizales o humedales) se convierten en otros usos del suelo, como agricultura, ganadería, plantaciones forestales, áreas urbanizadas o infraestructuras.

Estas emisiones son una parte significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y tienen un impacto directo en el cambio climático. La transformación de la tierra no solo genera emisiones significativas de CO₂, sino que también reduce la capacidad de los ecosistemas para absorber carbono. Esto subraya la necesidad de implementar estrategias integrales de conservación y uso sostenible del suelo.

Las emisiones de CO₂ de origen *uptake* se refieren a la cantidad de dióxido de carbono que es capturada y almacenada por sistemas naturales o artificiales. Este concepto se utiliza para calcular la cantidad neta de emisiones de dióxido de carbono, teniendo en cuenta tanto las emisiones liberadas como el CO₂ que es retirado de la atmósfera durante el ciclo de vida de un producto, servicio o actividad. El CO₂ *uptake* representa un aspecto positivo en el balance de carbono de un análisis de impacto ambiental, pero debe ser evaluado cuidadosamente para garantizar su validez y permanencia en la lucha contra el cambio climático.

Seguidamente se procede al mismo análisis anterior, pero considerando como unidad funcional 1 alumno obteniéndose el siguiente gráfico a partir de los datos obtenidos en SimaPro:

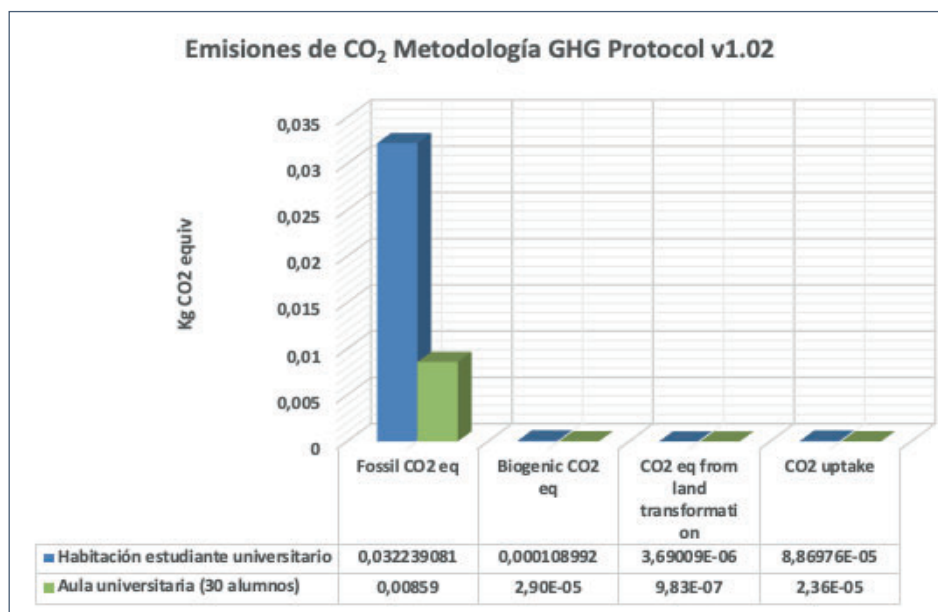


Figura 4: emisiones cuantitativas de CO₂ de diferentes orígenes en Kg CO₂ equiv. por alumno correspondientes al acondicionamiento térmico

Comentarios sobre el gráfico

Mediante la Figura 4 se representan los valores numéricos correspondientes a las emisiones de CO₂ de diferente procedencia, por alumno de cada uno de los recintos formativos.

Como se observa, para cada una de las fuentes consideradas, la más representativa corresponde a la de origen fósil y, de los dos recintos considerados, el acondicionamiento térmico de la habitación de estudiante online es la que más contribuye a las emisiones a pesar de utilizar una menor cantidad de energía. Esto se debe al reparto de emisiones entre el número de alumnos ubicados en el aula.

Respecto al resto de las fuentes de emisiones, los valores numéricos son muy inferiores a los de origen fósil, pero mantienen la tendencia que observamos en el caso de emisiones por fuentes de este tipo.

5.2. Proceso de iluminación de recintos necesario para la realización de las actividades académicas

En este proceso se ha considerado la energía necesaria para la iluminación de los recintos utilizados para desempeñar las actividades académicas en ambas modalidades formativas. Se ha considerado un aula de centro formativo con capacidad para 30 alumnos y una habitación utilizada por un alumno dedicada a la formación académica.

Siguiendo el mismo criterio utilizado para el acondicionamiento térmico, se ha considerado un incremento del 20% en el consumo energético como parte correspondiente al aporte de las zonas comunes compartidas por las diferentes aulas y despachos integrados en el centro.

Los cálculos realizados son los siguientes:

5.2.1. Energía necesaria para iluminar un aula de centro formativo

Para el cálculo de la energía necesaria para iluminar un aula de centro formativo con dimensiones de 10 metros de largo, 8 metros de ancho y 3 metros de alto, es necesario estimar la potencia requerida para lograr un nivel de iluminación adecuado para después calcular la energía consumida en determinado tiempo.

- ⇒ Determinación de la cantidad de luz adecuada (nivel de iluminación): el nivel de iluminación de un recinto se mide en lux, que es la cantidad de lúmenes por metro cuadrado. Para un aula, el estándar recomendado por normativas de iluminación para espacios de estudio es de aproximadamente entre 300 y 500 lux.
- ⇒ Área del aula considerada: el área del aula considerada de acuerdo a las dimensiones mencionadas es:

$$\text{Área} = 10 \text{ m} \times 8 \text{ m} = 80 \text{ m}^2$$

- ⇒ Cantidad de lúmenes necesarios: para el cálculo de los lúmenes se multiplica el área del aula por el nivel de iluminación deseado (en lux). Se considera que se requiere un nivel de iluminación promedio de 400 lux, de esta manera, la cantidad total de lúmenes necesarios es:

$$\text{Lúmenes necesarios} = 80 \text{ m}^2 \times 400 \text{ lux} = 32.000 \text{ lúmenes}$$

- ⇒ Determinación de la potencia de las lámparas: la cantidad de energía eléctrica necesaria depende de la eficiencia de las lámparas que se utilicen. Por ejemplo, las lámparas LED son muy eficientes, produciendo aproximadamente 100 lúmenes por vatio (lm/W). Por lo tanto, por lo anterior se puede calcular la potencia total que se necesita mediante la siguiente expresión:

$$\text{Potencia requerida} = \frac{32.000 \text{ lúmenes}}{100 \text{ lúmenes/watio}} = 320 \text{ W}$$

Esto significa que se necesitarían alrededor de 320 W para iluminar el aula con un nivel de iluminación adecuado.

- ⇒ Cálculo de energía consumida: para el cálculo de la energía total consumida en un período de tiempo determinado, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Energía} = \text{Potencia} \times \text{Tiempo}$$

- Potencia requerida (calculada anteriormente): 320 W (0,32 kW)
- Tiempo de uso considerado: 5 horas diarias

La energía consumida por día sería:

$$\text{Energía diaria} = 0,32 \text{ kW} \times 5 \text{ horas} = 1,6 \text{ kWh} + 20\% \text{ incremento} \approx 1,92 \text{ kWh}$$

Si se considera un uso de 20 días al mes (en un ambiente de centro formativo típico):

$$\text{Energía mensual} = 1,92 \text{ kWh/día} \times 20 \text{ días} = 38,4 \text{ kWh/mes}$$

En resumen, según los cálculos realizados anteriormente podemos comentar que:

- Para un aula de 80 m², se necesitaría una potencia de aproximadamente 320 vatios para alcanzar un nivel de iluminación de 400 lux utilizando luces LED.
- La energía consumida para iluminar el aula durante 5 horas al día sería de 1,92 kWh por día o 38,4 kWh al mes, asumiendo 20 días de uso mensual.

Este cálculo es una aproximación y podría variar según el tipo de lámparas utilizadas y las condiciones específicas del aula.

5.2.2. Energía necesaria para iluminar una habitación de un alumno en formación online

Para el cálculo de la energía necesaria para iluminar una habitación de estudiante online con dimensiones de 4 metros de largo, 3 metros de ancho y 2,5 metros de alto, seguimos un proceso similar al que usamos anteriormente, estimando primero la cantidad de luz que debe proporcionarse y luego calculamos la energía consumida a lo largo de un tiempo determinado.

Área de la habitación:

Primero, calculamos el área del suelo de la habitación, que es donde aplicaremos el nivel de iluminación (medido en lux).

$$\text{Área} = 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$$

- ⇒ Nivel de iluminación adecuado: el nivel de iluminación recomendado para una habitación de estudio es entre 300 y 500 lux. En este caso, se considera una iluminación media de 400 lux.
- ⇒ Cálculo de la cantidad de lúmenes necesarios: la cantidad de lúmenes que se necesitan en total es igual al área multiplicada por el nivel de iluminación en lux.

$$\text{Lúmenes necesarios} = 12 \text{ m}^2 \times 400 \text{ lux} = 4.800 \text{ lúmenes}$$

- ⇒ Determinación de la potencia de las lámparas: para calcular la potencia que necesitaríamos, usamos la eficiencia de las lámparas. Si se utilizan lámparas LED, que son muy eficientes y tienen un rendimiento típico de 100 lúmenes por vatio (lm/W), la potencia requerida es:

$$\text{Potencia requerida} = \frac{4.800 \text{ lúmenes}}{100 \text{ lúmenes/vatio}} = 48 \text{ W}$$

Esto significa que se necesita una potencia de 48 vatios para iluminar la habitación adecuadamente con un nivel de iluminación de 400 lux.

- ⇒ Cálculo de la energía consumida: para el cálculo de la energía total consumida en función del tiempo dedicado, usamos la fórmula:

$$\text{Energía} = \text{Potencia} \times \text{Tiempo}$$

Consideraciones:

- La potencia es de 48 W (0,048 kW)
- Las luces están encendidas durante 5 horas al día (como es común en una habitación de estudio)

De esta manera, el consumo energético diario sería:

$$\text{Energía diaria} = 0,048 \text{ kW} \times 5 \text{ horas} = 0,24 \text{ kWh/día}$$

- ⇒ Cálculo mensual: si se usa la iluminación todos los días durante un mes (20 días), la energía mensual consumida sería:

$$\text{Energía mensual} = 0,24 \text{ kWh/día} \times 20 \text{ días} = 4,8 \text{ kWh/mes}$$

En resumen:

- Para iluminar una habitación de estudiante de 12 m² con un nivel de iluminación de 400 lux, se necesita una potencia de aproximadamente 48 W.
- El consumo diario, si se usa la iluminación durante 5 horas, sería de 0,24 kWh, y el consumo mensual sería de 4,8 kWh.

Este cálculo es aproximado y puede variar según el tipo de lámparas y la cantidad de horas que las luces estén encendidas cada día.

5.2.3. Análisis de impacto medioambiental atribuido al proceso de iluminación

En base a los cálculos realizados anteriormente se ha procedido a considerar una serie de parámetros que permitan obtener la energía necesaria que se consume en la iluminación de los recintos considerados para el estudio.

Para ello, se ha realizado el análisis teniendo en consideración la superficie a iluminar mediante un número estimado de lúmenes. También se ha tenido en cuenta un determinado tiempo medio de uso y que ha sido de 5 horas.

Las emisiones de CO₂ producidas en este proceso son debidas a la producción de la energía necesaria para tal fin en cada uno de los casos y para ello, los datos obtenidos se exportan a un gráfico de barras con la metodología IPCC 2013 GWP a 20 años para conseguir la evaluación de emisiones mediante un indicador de caracterización que se incorpora a continuación.

Se han realizado dos tipos de análisis considerando diferente unidad funcional; por un lado, si se estudian las emisiones por recinto destinado a cada modalidad formativa los resultados son los siguientes:

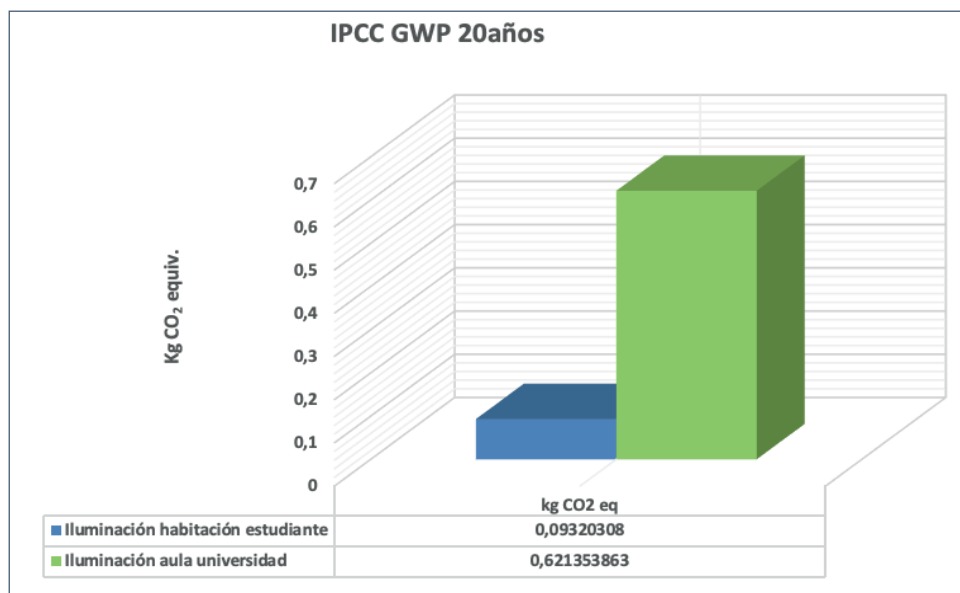


Figura 5: comparativa de emisiones de CO₂ por recinto formativo expresadas en Kg CO₂ equiv. correspondientes a la iluminación en cada recinto destinado a la formación

Comentarios sobre el gráfico

Observando la figura 5 y tomando como unidad funcional 1 recinto, los valores obtenidos muestran que la mayor cantidad de emisiones de CO₂ corresponde a la iluminación necesaria para un aula de centro formativo. En base a lo anterior, el consumo energético correspondiente a un aula de centro formativo es más elevado debido principalmente al área que se ha de iluminar y por tanto a la mayor energía necesaria para tal fin. La necesidad de un mayor consumo energético conlleva la necesidad de una mayor producción que implica un mayor impacto ambiental derivado del proceso de generación de dicha energía.

Consideración: debido a la metodología utilizada se han considerado tan solo las emisiones de CO₂ provocadas por el consumo energético necesario para la iluminación de cada recinto sin haber tenido en cuenta el impacto de otras categorías.

Aplicando la misma metodología, pero considerando como unidad funcional 1 alumno para cada recinto formativo, los valores se invierten como se muestra en la siguiente gráfica:

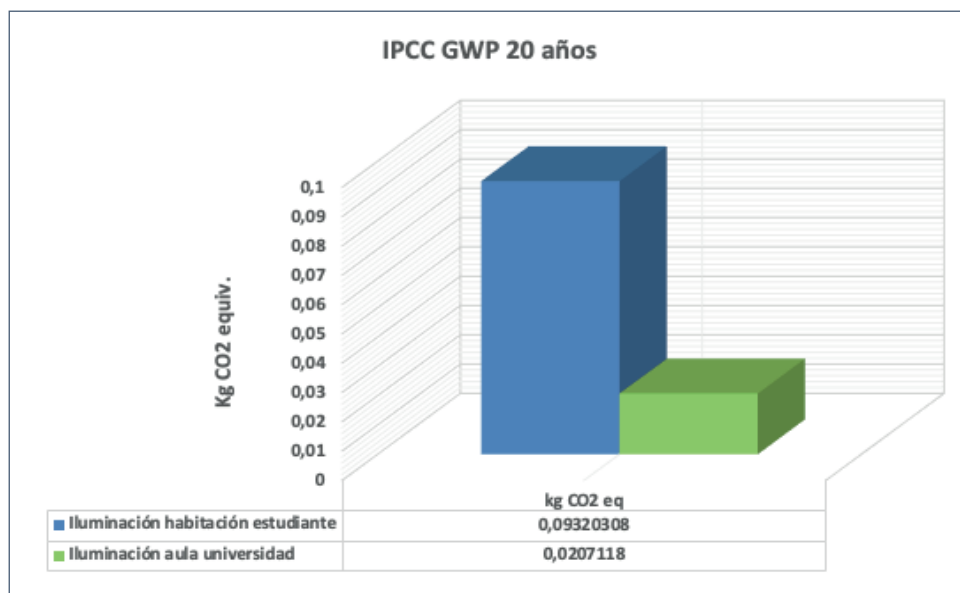


Figura 6: Comparativa de emisiones de CO₂ por alumno expresadas en Kg CO₂ equiv. correspondientes a la iluminación en cada recinto destinado a la formación

Comentarios sobre el gráfico

Observando la figura 6 y considerando los datos obtenidos se deduce que la mayor cantidad de emisiones de CO₂ por alumno corresponde a la iluminación necesaria para una habitación de estudiante. En base a lo anterior, el consumo energético correspondiente a un aula de centro formativo es más elevado debido principalmente al área que se ha de iluminar y por tanto a la mayor energía necesaria para tal fin, pero considerando la distribución de estas emisiones por alumno los resultados son inversos respecto al caso anterior en el que se consideraba como unidad funcional un recinto con diferentes dimensiones.

Consideración: para este análisis se han considerado las emisiones de CO₂ por alumno mediante la metodología comentada sin haber considerado el impacto de otras categorías pertenecientes a otras metodologías.

Al igual que en el caso anterior y para análisis posteriores, para conocer las emisiones de CO₂ de forma cuantitativa procedentes de diferentes fuentes, se ha realizado un estudio mediante la metodología Greenhouse Gas (GHG) Protocol v1.02.

Por ello, a partir de los datos obtenidos en el inventario proporcionado por la herramienta SimaPro y teniendo en cuenta el análisis para cada unidad funcional supuesta se obtienen los siguientes gráficos:

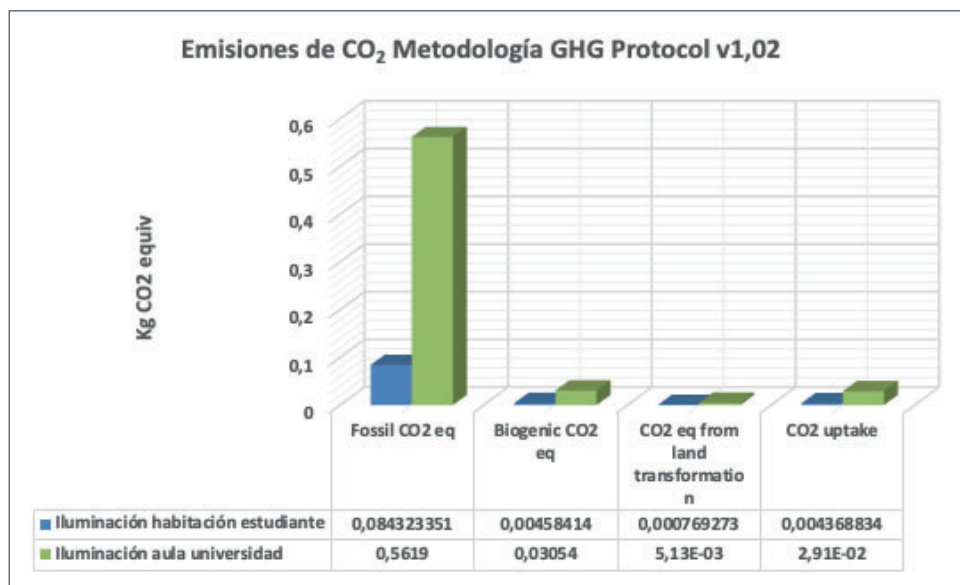


Figura 7: emisiones cuantitativas de CO₂ de diferentes orígenes en Kg CO₂ equiv. correspondientes a la iluminación por cada recinto formativo

Comentarios sobre el gráfico

En la Figura 7 se representa de forma cuantitativa las emisiones de CO₂ en unidades de CO₂ equiv. para cada una de las fuentes de emisión contempladas, utilizadas para la iluminación necesaria en cada uno de los recintos formativos.

Como se observa, en todos los casos las emisiones de CO₂ procedentes del empleo de materias fósiles es la más elevada de las cuatro formas, siendo las emisiones producidas en la iluminación de una habitación de estudiante muy superior a las que genera un recinto de mayor superficie como es un aula de centro formativo.

Los datos obtenidos en SimaPro indican un mayor número de emisiones en el caso de un aula de centro formativo debido al mayor consumo energético necesario para la iluminación, pero, si consideramos las emisiones en función del número de alumnos que conforman el aula los resultados son contrarios, según se reflejan en la Figura 8.

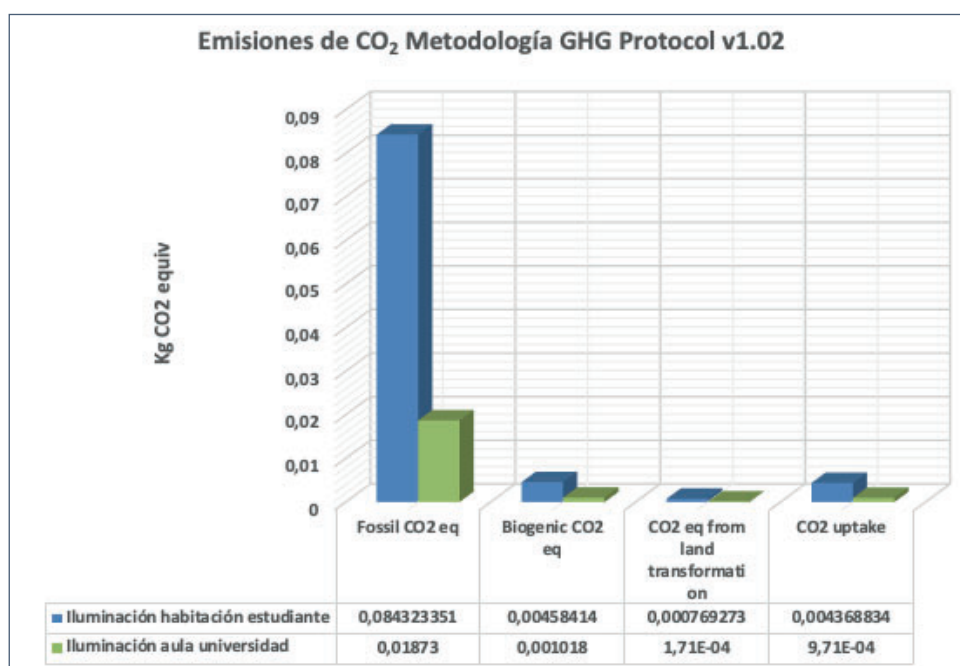


Figura 8: Emisiones cuantitativas de CO₂ de diferentes orígenes en Kg CO₂ equiv. correspondientes a la iluminación por alumno en cada recinto formativo

Comentarios sobre el gráfico

En la Figura 8 se representa de forma cuantitativa las emisiones de CO₂ por alumno en unidades de CO₂ equiv. para cada una de las formas de emisión contempladas, provocadas por la iluminación necesaria de cada uno de los recintos formativos.

Como se observa en todos los casos, las emisiones de CO₂ por alumno procedentes del empleo de materias fósiles es la más elevada de las cuatro formas, siendo las emisiones producidas en la iluminación de una habitación de estudiante muy superior a las que genera un recinto de mayor superficie como es un aula de centro de formación.

Este aspecto se reproduce para el resto de los orígenes de emisiones de CO₂, aunque en mucha menor cantidad debido a la procedencia de cada una de ellas, menos influyentes en el medioambiente por su procedencia a la hora de generar energía desde ellas.

5.3. Proceso de ventilación de recintos necesario para la realización de las actividades académicas

La ventilación en los recintos destinados a la formación es un aspecto crucial para garantizar un ambiente saludable, confortable y propicio para el aprendizaje. Los principales aspectos clave a considerar respecto a la importancia de la ventilación son:

- ▶ Reducción de la concentración de dióxido de carbono (CO₂): en aulas con ventilación inadecuada, el nivel de CO₂ tiende a aumentar debido a la respiración de los ocupantes. Concentraciones altas de CO₂ afectan la claridad mental, dificultando la concentración y el rendimiento académico de los estudiantes.
- ▶ Control de enfermedades respiratorias: la ventilación adecuada disminuye la probabilidad de transmisión de enfermedades respiratorias, como gripe, resfriado común, etc. Al renovar el aire en el recinto, se eliminan patógenos y aerosoles que podrían contener virus o bacterias, reduciendo el riesgo de contagio.
- ▶ Mejora de la calidad del aire interior: una buena ventilación también elimina contaminantes del aire, como el polvo, compuestos orgánicos volátiles (COVs) y otros alérgenos que pueden causar reacciones en personas sensibles. Esto es especialmente importante para estudiantes con asma o alergias.
- ▶ Regulación de la temperatura y la humedad: la ventilación contribuye a mantener una temperatura y humedad adecuadas dentro del aula. El aire fresco ayuda a disipar el calor corporal generado por la concentración de personas y evita la acumulación de humedad, que puede generar incomodidad y favorecer el crecimiento de moho y bacterias.
- ▶ Incremento en el rendimiento académico: estudios han demostrado que la calidad del aire tiene un impacto directo en el rendimiento cognitivo. Los estudiantes tienden a tener un mejor rendimiento en entornos bien ventilados, ya que los niveles bajos de CO₂ y de otros contaminantes mejoran la capacidad de concentración, el tiempo de reacción y el bienestar general.
- ▶ Confort y bienestar: la percepción de frescura y limpieza del aire aumenta el confort de los estudiantes y profesores, reduciendo el estrés y la fatiga asociados a ambientes cerrados. Esto crea un entorno más agradable y favorece el aprendizaje.

Por estas razones, es importante prestar atención a los sistemas de ventilación, a menudo combinándolos con filtros de aire y sensores de CO₂ para optimizar la calidad del aire y crear un espacio seguro y productivo.

5.3.1. Energía necesaria para la ventilación de un aula de centro formativo

Teniendo en cuenta los comentarios anteriores es necesario conocer el impacto correspondiente a la energía necesaria para la ventilación de los dos recintos considerados en el estudio.

Primeramente, se calcula el volumen de aire necesario y para ello se calcula el área del suelo del aula, que es donde se aplicará el nivel de ventilación.

Para un aula de 80 m² con una altura estándar de 3 metros, el volumen (V) del aula sería:

$$V = \text{superficie} \times \text{altura} = 80 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} = 240 \text{ m}^3$$

Si consideramos una tasa de 4 renovaciones de volumen de aire por cada hora (4 ACH), típica para aulas:

$$\text{Volumen de aire por hora} = \text{ACH} \times V = 4 \times 240 = 960 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Esto significa que se deben mover 960 m³ de aire cada hora para un aula de las dimensiones consideradas.

La energía necesaria para mover 960 m³ de aire cada hora depende de varios factores, principalmente:

- La resistencia del sistema de ventilación: depende de la longitud de los conductos y de los filtros instalados.
- La eficiencia del ventilador: cuánto de la energía consumida por el ventilador se usa para mover el aire de manera efectiva.

Continuando con los cálculos, es necesario conocer el caudal de aire y esto se realiza mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{960 \text{ m}^3/\text{hora}}{3600 \text{ s}} = 0,267 \text{ m}^3/\text{s}$$

La potencia necesaria para mover el aire puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$P = V' \times \Delta P / \eta$$

Siendo:

V': caudal volumétrico de aire (en m³/s cuyo valor calculado es 0,267 m³/s)

ΔP: presión estática requerida para mover el aire, que depende de la resistencia del sistema (se mide en pascuales, Pa). Para un sistema de ventilación típico, puede estar entre 200 y 600 Pa

η: eficiencia del ventilador, que suele estar entre 0,6 y 0,7 para ventiladores de buena calidad

Si se considera una presión estática común con un valor de 400 Pa y un valor estándar para la eficiencia del ventilador (η) de 0,65, la potencia necesaria para mover el aire sería:

$$P = 0,267 \text{ m}^3/\text{s} \times 400 \text{ Pa} / 0,65 \approx 164,6 \text{ W}$$

Para conocer la energía consumida por hora se aplica la expresión: $E = P \times t$

Por tanto,

$$E = 164,6 \text{ W} \times 1 \text{ hora} = 164,6 \text{ Wh} \approx 0,165 \text{ kWh} + 20\% \text{ incremento} \approx 0,198 \text{ kWh}$$

Lo que significa que para mover 960 m³ de aire cada hora con un ventilador de presión estática de 400 Pa y una eficiencia de 65%, se necesitarían aproximadamente 0,198 kWh por hora.

5.3.2. Energía necesaria para la ventilación de una habitación de estudiante

En este caso y para este tipo de recintos la ventilación en una habitación de un edificio residencial es de tipo natural, por lo que no tendría consumo alguno. Sin embargo y a efectos de dar algún valor energético al caso, se puede considerar que durante el proceso de ventilación se disipa una parte muy pequeña de energía térmica (ya sea como calor o como frío). Por tal motivo se ha optado por atribuir un valor de 0,009 kWh de consumo de energía (habitualmente por bomba de calor-split) para conseguir el mantenimiento de la temperatura de la habitación del estudiante.

Primeramente, se calcula el área del suelo de la habitación, que es donde aplicaremos el nivel de ventilación.

$$\text{Área} = 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$$

Y considerando una altura de 3 metros, el volumen resultante de la habitación sería:

$$V = \text{superficie} \times \text{altura} = 12 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} = 36 \text{ m}^3$$

Si se considera una tasa de 4 renovaciones por hora (4 ACH):

$$\text{Volumen de aire por hora} = \text{ACH} \times V = 4 \times 36 = 144 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Esto significa que cada hora se deben renovar 144 m³ de aire.

La energía necesaria para mover 144 m³ de aire cada hora depende de varios factores, principalmente:

- La resistencia del sistema de ventilación: depende de la longitud de los conductos y de los filtros instalados.
- La eficiencia del ventilador: cuánto de la energía consumida por el ventilador se usa para mover el aire de manera efectiva.

Continuando con los cálculos, es necesario conocer el caudal de aire y esto se realiza mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{144 \text{ m}^3/\text{hora}}{3600 \text{ s}} = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

La potencia necesaria para mover el aire se obtiene mediante la expresión:

$$P = V \cdot \Delta P / \eta$$

Siendo:

V : caudal volumétrico de aire (en m³/s cuyo valor calculado es 0,04 m³/s)

ΔP : presión estática requerida para mover el aire, que depende de la resistencia del sistema (se mide en pascuales, Pa). Para un sistema de ventilación típico, puede estar entre 200 y 600 Pa

η : eficiencia del ventilador, que suele estar entre 0,6 y 0,7 para ventiladores de buena calidad

Si se considera una presión estática común con un valor de 400 Pa y un valor estándar para la eficiencia del ventilador (η) de 0,65, la potencia necesaria para mover el aire sería:

$$P = 0,04 \text{ m}^3/\text{s} \times 400 \text{ Pa} / 0,65 \approx 24,6 \text{ W}$$

Para conocer la energía consumida por hora se aplica la expresión: $E = P \times t$

Por tanto,

$$E = 24,6 \text{ W} \times 1 \text{ hora} = 24,6 \text{ Wh} \approx 0,025 \text{ kWh (calculado)} \approx 0,009 \text{ kWh (supuesto)}$$

Por tanto, para mover 144 m³ de aire cada hora con un ventilador que requiere una presión estática de 400 Pa y una eficiencia del 65%, se necesitarían aproximadamente 0.025 kWh por cada hora.

5.3.3. Análisis de impacto medioambiental atribuido al proceso de ventilación

El análisis medioambiental realizado en el proceso de ventilación de los recintos objeto de estudio, al igual que en casos anteriores, se ha realizado considerando las dos unidades funcionales (recinto y alumno) utilizando las dos metodologías de los casos anteriores, referido a la energía consumida para este proceso y traducido a Kg de CO₂ equivalente provocado por el proceso de generación de la propia energía.

Las emisiones de CO₂ procedentes del consumo de energía necesario para el proceso de ventilación es función del volumen de aire que es preciso mover y ello depende de la superficie que se considere para el estudio. A su vez, ese movimiento de la masa de aire será función de la eficiencia del equipo de ventilación y la potencia empleada para moverla, que depende de la energía empleada para el proceso.

Es por tanto el valor de emisiones de CO₂ que se van a generar por el consumo de dicha energía en el proceso.

A partir de los resultados obtenidos mediante SimaPro se obtiene una tabla de inventario procedente de los procesos involucrados en este proceso. Considerando como unidad funcional 1 recinto y con los datos de inventario se obtiene el siguiente gráfico:

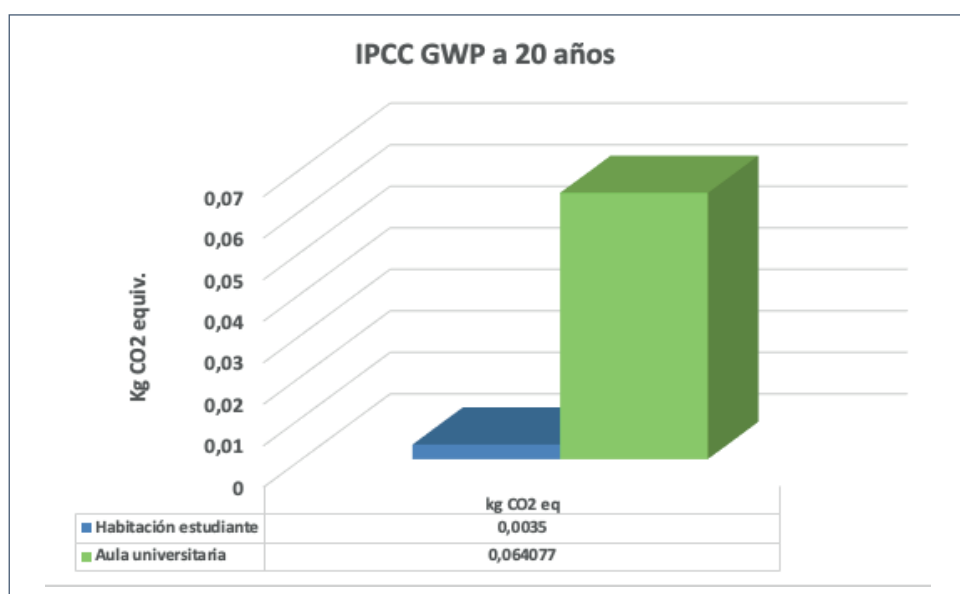


Figura 9: Comparativa de emisiones de CO₂ para los recintos expresadas en Kg CO₂ equiv., por recinto formativo correspondientes al proceso de ventilación

Comentarios sobre el gráfico

Observando la figura 9 y teniendo en cuenta los valores obtenidos aplicando la metodología IPCC GWP a 20 años, se puede concluir que la mayor cantidad de emisiones de CO₂ corresponde al proceso de ventilación necesario para un aula de centro formativo. El motivo, como en casos anteriores no es otro que la necesidad energética para llevar a cabo el proceso de renovar el volumen de aire del recinto correspondiente.

En base a lo anterior, el consumo energético correspondiente a un aula de centro formativo es más elevado debido principalmente al área que se ha de ventilar y por tanto a la mayor energía necesaria para tal fin. La necesidad de un mayor consumo energético conlleva la necesidad de una mayor producción que implica un mayor impacto ambiental derivado del proceso de generación de la energía.

Consideración: no se han definido con total precisión aquellas características que pueden tener determinada influencia en el proceso y que afectarían a un aumento en el consumo energético y que son, como se ha comentado anteriormente:

- La resistencia del sistema de ventilación: depende de la longitud de los conductos y de los filtros instalados.

- La eficiencia de la turbina: cuánto de la energía consumida por la turbina se usa para mover el aire de manera efectiva.

Al igual que en el caso anterior se procede a la evaluación medioambiental con la misma metodología, pero considerando como unidad funcional 1 alumno para conocer las emisiones cuantitativas de CO₂ distribuidas. Para ello, a partir de los datos obtenidos en el inventario del análisis realizado se obtiene el siguiente gráfico:

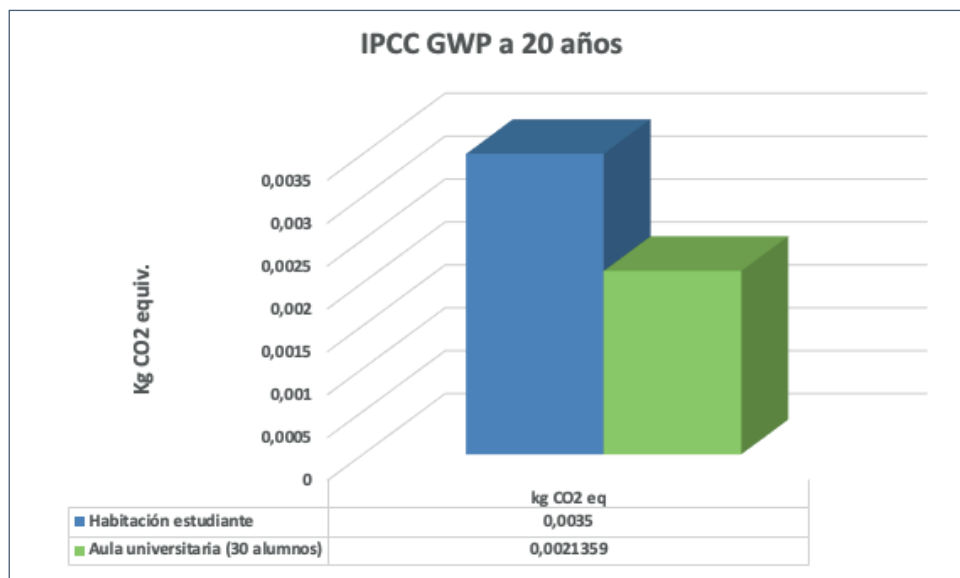


Figura 10: comparativa de emisiones de CO₂ expresadas en Kg CO₂ equiv., por alumno correspondientes al proceso de ventilación

Comentarios sobre el gráfico

Observando la figura 10 y teniendo en cuenta los valores obtenidos aplicando la metodología IPCC GWP a 20 años y 1 alumno como unidad funcional, se puede concluir que la cantidad de emisiones de CO₂ por el proceso de ventilación necesario son ligeramente superiores para una habitación de estudiante. Aunque la ventilación para una habitación suele ser natural, al considerar un pequeño aporte energético para ello las emisiones producidas por el alumno que realiza la actividad en una habitación son ligeramente superiores que las emisiones producidas por un alumno ubicado en un aula de un centro ya que, como hemos considerado en este análisis, se han distribuido las emisiones de CO₂ entre el número de alumnos que componen dicho recinto.

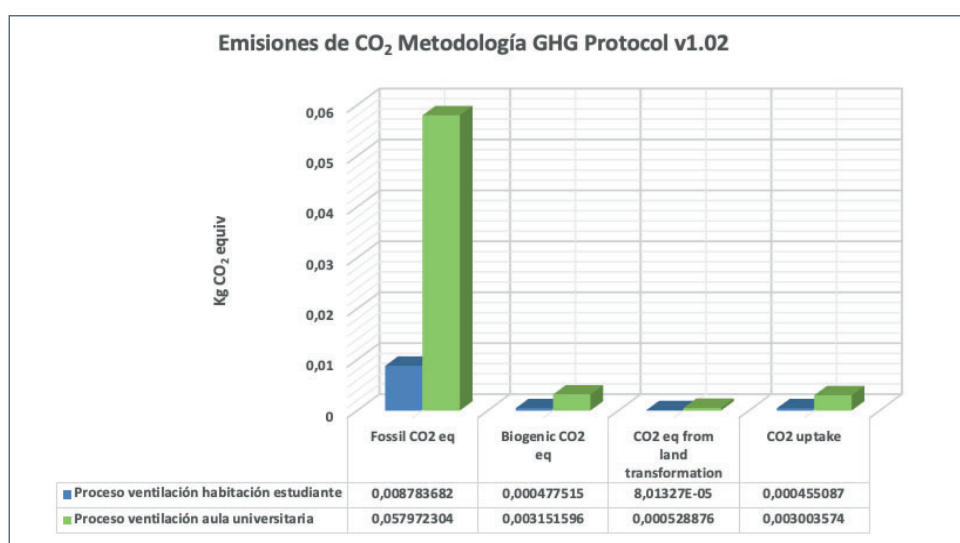


Figura 11: comparativa emisiones cuantitativas de CO₂ de diferentes fuentes en Kg CO₂ equiv referido a los recintos correspondientes a la ventilación

Comentarios sobre el gráfico

En la Figura 11 se representa, de forma cuantitativa, las emisiones de CO₂ en unidades de CO₂ equiv. para cada una de las fuentes de emisiones de CO₂ contempladas en el método, para la ventilación necesaria en cada uno de los recintos formativos.

Se ha considerado como unidad funcional 1 recinto y como se observa, las emisiones de CO₂ procedentes del empleo de fuentes fósiles son las de mayor aporte. En el resto de fuentes los valores son muy inferiores, pero mantienen la tendencia de que las emisiones de CO₂ producidas en el aula de un centro formativo son superiores a las que se obtienen para la habitación de estudiante.

Las emisiones de CO₂ de origen biogénico y uptake aportan valores similares en cada caso para cada recinto.

Realizando el mismo análisis, pero considerando como unidad funcional 1 alumno, a partir de los datos obtenidos se obtiene el siguiente gráfico:

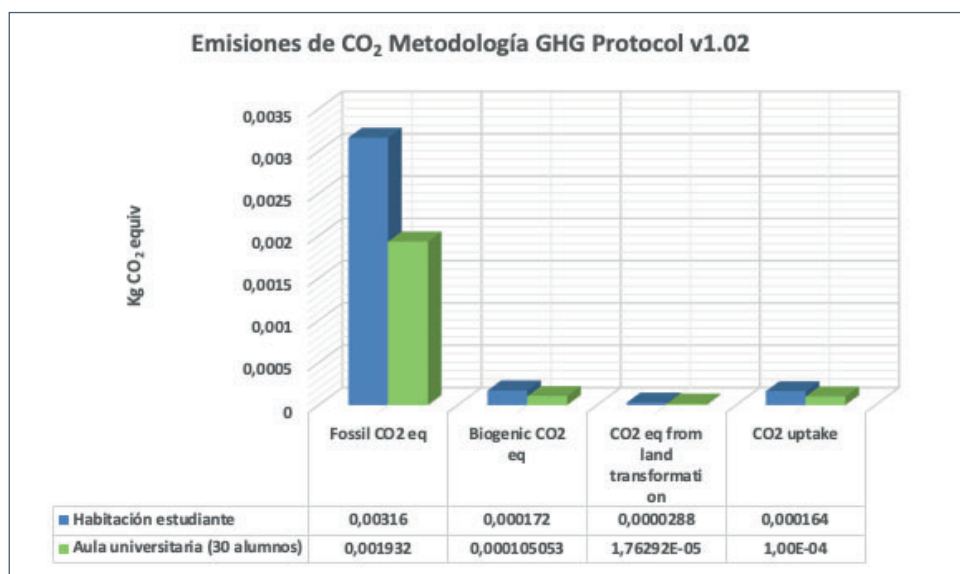


Figura 12: comparativa emisiones cuantitativas de CO₂ de diferentes fuentes en Kg CO₂ equiv por alumno correspondientes a la ventilación

Comentarios sobre el gráfico

En la Figura 12 se representa, de forma cuantitativa, las emisiones de CO₂ en unidades de CO₂ equiv. para cada una de las fuentes de emisiones de CO₂ contempladas en el método, para la ventilación necesaria tomando como unidad funcional 1 alumno para cada tipo de recinto.

Al cambiar de unidad funcional los valores se invierten. Ahora las emisiones de CO₂ son mayores para el caso de 1 alumno ubicado en una habitación, pero en este caso la diferencia con las emisiones correspondientes al alumno de un aula es menor. Esta tendencia se repite en el resto de fuentes, pero en menores cantidades.

Las emisiones de CO₂ de origen biogénico y uptake aportan valores similares en cada caso para cada tipo de alumno.

5.4. Uso de papel para la realización de las actividades académicas

El uso de papel en la formación tiene un impacto ambiental significativo. Se pueden detallar algunos de los principales aspectos de este impacto:

- **Deforestación y pérdida de biodiversidad:** la producción de papel es una de las principales causas de la deforestación global. Aunque algunos papeles provienen de fuentes sostenibles, una gran parte aún se fabrica a partir de árboles de bosques no gestionados de forma responsable. La tala de árboles afecta a la

biodiversidad al destruir el hábitat de diversas especies, y contribuye a la desaparición de fauna y flora en zonas forestales.

- ▶ **Consumo de agua:** la fabricación de papel es intensiva en agua: se requieren alrededor de 10 a 20 litros de agua por hoja de papel. Este uso contribuye al agotamiento de recursos hídricos y afecta a regiones donde el acceso al agua ya es limitado. También, la gestión inadecuada del agua utilizada en la producción puede causar la contaminación de ríos y lagos, afectando a la vida acuática y a las comunidades cercanas.
- ▶ **Emisión de gases de efecto invernadero:** la producción de papel contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) en los vertederos, donde el papel se descompone lentamente y emite metano. Por otro lado, la industria papelera se encuentra entre las industrias más intensivas en términos de energía, utilizando combustibles fósiles para el procesamiento y transporte de la madera y el papel.
- ▶ **Contaminación por productos químicos:** en el proceso de blanqueo del papel se utilizan productos químicos, como el cloro, que son tóxicos y pueden contaminar el agua y el suelo. Estos productos químicos pueden provocar daños a largo plazo en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana si no se gestionan adecuadamente. La tinta utilizada en las impresiones, en especial si no es tinta ecológica, también genera residuos tóxicos, y muchos productos de impresión no son reciclables.
- ▶ **Generación de residuos sólidos:** las universidades generan grandes cantidades de residuos de papel. Aunque el reciclaje reduce el impacto, la realidad es que una cantidad considerable de papel termina en vertederos, donde se descompone y emite metano, un gas con un impacto climático significativo. Solo un porcentaje reducido del papel que se utiliza es reciclado, y el papel reciclado requiere menos recursos en su producción, pero aún consume agua y energía.

Alternativas digitales y sostenibles:

- ▶ **Digitalización:** la digitalización y el uso de plataformas electrónicas pueden disminuir significativamente el uso de papel en la educación superior. El uso de tablets, ordenadores y otros dispositivos, aunque también tiene su impacto ambiental, suele ser menor comparado con el del papel.
- ▶ **Material reciclado:** optar por papel reciclado o papel certificado (como el de FSC) reduce el impacto ambiental, ya que estos productos utilizan menos recursos y provienen de fuentes gestionadas de forma sostenible.
- ▶ **Políticas institucionales:** las universidades pueden implementar políticas de reducción de uso de papel, promoviendo la digitalización y el reciclaje, así como la sensibilización sobre el impacto ambiental del papel.

Reducir el uso de papel en el ámbito de la formación y adoptar prácticas más sostenibles es un paso clave para minimizar la huella ecológica de las instituciones educativas.

5.4.1. Cantidad de papel utilizado en un aula de un centro formativo

La cantidad de papel que utiliza un aula formativa depende de varios factores, como el número de estudiantes, el tipo de actividades académicas, el uso de tecnología (ordenadores, dispositivos electrónicos) y las políticas de sostenibilidad de la universidad. Se realiza una estimación basada en algunos supuestos clásicos.

Factores a considerar:

- ▶ **Número de estudiantes:** el uso de papel se relaciona con la cantidad de estudiantes en el aula. Un aula típica de un centro destinado a la formación puede tener entre 20 y 50 estudiantes, pero las clases pueden variar.
- ▶ **Tipo de actividad:** las clases teóricas pueden requerir menos papel que las clases prácticas que requieren informes o ejercicios impresos. También depende de si los estudiantes toman apuntes en papel o usan dispositivos electrónicos.
- ▶ **Exámenes y trabajos:** la cantidad de exámenes, trabajos prácticos, tareas y otros tipos de evaluaciones también influye.
- ▶ **Uso de tecnología:** si se usan sistemas digitales para la entrega de tareas y la administración de exámenes, el uso de papel puede reducirse significativamente.

Cálculo basado en un aula promedio:

Se realiza una estimación considerando un aula con 30 estudiantes y algunos escenarios habituales de uso de papel.

- ▶ Apuntes de clase: si se asume que cada estudiante toma apuntes de manera tradicional en papel, y utiliza un cuaderno de 100 hojas (una hoja por clase) durante un semestre de 16 semanas, eso implica:

$$30 \text{ estudiantes} \times 100 \text{ hojas} = 3.000 \text{ hojas de papel para apuntes.}$$

- ▶ Tareas y trabajos: si cada estudiante entrega, por ejemplo, 3 trabajos impresos de unas 5 hojas cada uno durante el semestre:

$$30 \text{ estudiantes} \times 3 \text{ trabajos} \times 5 \text{ hojas} = 450 \text{ hojas para tareas impresas.}$$

- ▶ Exámenes: se ha considerado la realización de 2 exámenes por semestre y cada examen requiere unas 5 hojas por estudiante:

$$30 \text{ estudiantes} \times 2 \text{ exámenes} \times 5 \text{ hojas} = 300 \text{ hojas para exámenes.}$$

- ▶ Otros materiales (fotocopias): el docente puede distribuir materiales impresos (lecturas, ejercicios, etc.). Si se supone que distribuye 20 hojas por estudiante a lo largo del semestre:

$$30 \text{ estudiantes} \times 20 \text{ hojas} = 600 \text{ hojas en materiales impresos.}$$

- ▶ Total de papel utilizado en un semestre considerando la suma de todos estos valores:

Apuntes: 3.000 hojas

Tareas: 450 hojas

Exámenes: 300 hojas

Materiales impresos: 600 hojas

Total estimado = 4.350 hojas de papel para un aula de 30 estudiantes durante un semestre.

Por tanto y atendiendo a lo anterior, en un aula formativa de 30 estudiantes, el uso estimado de papel en un semestre puede llegar a ser de 4.350 folios si los estudiantes toman apuntes en papel, entregan trabajos impresos y participan en exámenes en papel. Este número puede reducirse significativamente si se utilizan medios digitales para estas actividades.

Para completar el estudio necesitamos conocer el peso de un folio para el cálculo de su impacto ambiental. El peso de un folio A4, comúnmente utilizado para la formación, depende del gramaje del papel, que es la medida estándar utilizada para describir el peso del papel en gramos por metro cuadrado (g/m²). El tamaño de un folio A4 es de 0.06237 m² (210 mm × 297 mm).

El papel de uso común en universidades suele tener un gramaje de 80 g/m².

Cálculo del peso de un folio A4:

$$\text{Peso} = \text{Área del folio A4} \times \text{Gramaje}$$

$$\text{Peso} = 0,06237 \text{ m}^2 \times 80 \text{ g/m}^2 = 4,9896 \text{ g}$$

Por tanto, el peso de un folio A4 con gramaje de 80 g/m² es de aproximadamente 5 gramos.

5.4.2. Análisis de impacto medioambiental atribuido al uso de papel en las actividades formativas

El consumo de papel es un aspecto importante a tener en cuenta a la hora de realizar un análisis medioambiental de aquellas actividades en las que se utiliza. Una de estas actividades es la formación académica, en la que se utilizan cantidades ingentes y que en los últimos tiempos se ha minimizado, pero no prescindido en su totalidad.

Como puede entenderse, el uso de papel en la formación presencial es muy superior al utilizado en la formación online.

Antes de comenzar con el tipo de análisis que se ha realizado hasta ahora mediante la metodología IPCC GWP y GHG Protocol, resulta interesante detenerse en un aspecto clave como es la influencia del papel sobre diferentes categorías de impacto y no solo centrarlo en las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Se deja el análisis medioambiental con las dos metodologías anteriores para más adelante.

Para realizar este nuevo análisis se ha utilizado la metodología ReCiPe que es una de las metodologías más utilizadas en el ACV para evaluar los impactos ambientales. Su objetivo es traducir las emisiones y el consumo de recursos en impactos ambientales comprensibles y comparables. Este estudio se ha realizado hacia el enfoque del problema que considera los impactos directos y se evalúan los impactos en categorías ambientales específicas.

Las categorías de impacto consideradas evalúan impactos en términos de procesos ambientales específicos, ofreciendo resultados más detallados y técnicos. Estas categorías son las siguientes:

1. Cambio climático (*Climate change*):
 - Efecto del calentamiento global debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
 - Unidad: kg de CO₂ equivalente.
2. Agotamiento de la capa de ozono (*Ozone depletion*):
 - Reducción de la capa de ozono estratosférico debido a sustancias como los CFC.
 - Unidad: kg de CFC-11 equivalente.
3. Eutrofización terrestre (*Terrestrial eutrophication*):
 - Sobrealimentación de ecosistemas terrestres debido al exceso de nutrientes.
 - Unidad: kg de N equivalente.
4. Eutrofización acuática (*Aquatic eutrophication*):
 - Exceso de nutrientes en ecosistemas acuáticos, lo que provoca proliferación de algas y pérdida de oxígeno.
 - Subcategorías: agua dulce y agua marina.
 - Unidad: kg de fósforo o nitrógeno equivalente.
5. Formación de oxidantes fotoquímicos (*Photochemical ozone formation*):
 - Formación de ozono troposférico por la interacción de luz solar con contaminantes (*smog*).
 - Unidad: kg de NMVOC equivalente (compuestos orgánicos volátiles no metánicos).
6. Ecotoxicidad (*Ecotoxicity*):
 - Impacto tóxico de sustancias químicas en ecosistemas.
 - Subcategorías: agua dulce, agua marina y terrestre.
 - Unidad: CTUe (*comparative toxic unit for ecosystems*).

7. Toxicidad humana (*Human toxicity*):
 - Impacto de sustancias tóxicas en la salud humana.
 - Subcategorías: cáncer y no cáncer.
 - Unidad: CTUh (comparative toxic unit for humans).
8. Uso del agua (*Water use*):
 - Consumo de recursos hídricos y su impacto en la disponibilidad.
 - Unidad: m³ de agua consumida.
9. Agotamiento de recursos abióticos: minerales y metales (*Mineral resource scarcity*):
 - Reducción de la disponibilidad de metales y minerales.
 - Unidad: kg de cobre equivalente.
10. Agotamiento de recursos abióticos: combustibles fósiles (*Fossil resource scarcity*):
 - Reducción de la disponibilidad de recursos fósiles (carbón, petróleo, gas).
 - Unidad: kg de petróleo equivalente.
11. Uso del suelo (*Land use*):
 - Alteraciones en la calidad de los ecosistemas debido al cambio de uso del suelo.
 - Unidad: m²-año transformado.

Realizado el análisis medioambiental mediante la herramienta informática se obtiene la siguiente tabla de valores desde el inventario:

Categoría de impacto	Unidad	Valores de emisiones en cada caso
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	2,44361E-06
<i>Ozone formation, Human health</i>	kg NO _x eq	6,60387E-09
<i>Ozone formation, Terrestrial ecosystems</i>	kg NO _x eq	6,70991E-09
<i>Terrestrial ecotoxicity</i>	kg 1,4-DCB	4,60649E-06
<i>Freshwater ecotoxicity</i>	kg 1,4-DCB	7,0632E-08
<i>Human carcinogenic toxicity</i>	kg 1,4-DCB	9,25759E-06
<i>Human non-carcinogenic toxicity</i>	kg 1,4-DCB	0,000495241
<i>Land use</i>	m²a crop eq	7,45965E-07
<i>Mineral resource scarcity</i>	kg Cu eq	6,67843E-09
<i>Fossil resource scarcity</i>	kg oil eq	7,46554E-07
<i>Water consumption</i>	m³	3,71644E-08

Tabla 2: relación de las categorías de impacto destacadas a partir del análisis de impacto mediante ReCiPe 2016/Midpoint/Caracterización

En la Tabla 2 se exponen las categorías de impacto consideradas para el estudio, con sus correspondientes valores expresados en las unidades características de cada una de ellas. Todos estos datos son el resultado de un análisis a partir de la base de datos Ecoinvent 3 que recoge todos los procesos implicados en la obtención del papel e incluye aquellos que parten de las materias primas y finaliza con su puesta en el mercado.

Cada una de las categorías de impacto se expresa en sus propias unidades y tiene un valor determinado para este caso, pudiéndose hacer una comparativa entre ellas conociendo cuál es la más influyente en la obtención del producto final.

De forma más clara, estos datos se trasladan a un gráfico de barras en el que se puede apreciar de forma visual lo anteriormente indicado. Esto se comprueba en la Figura 13:

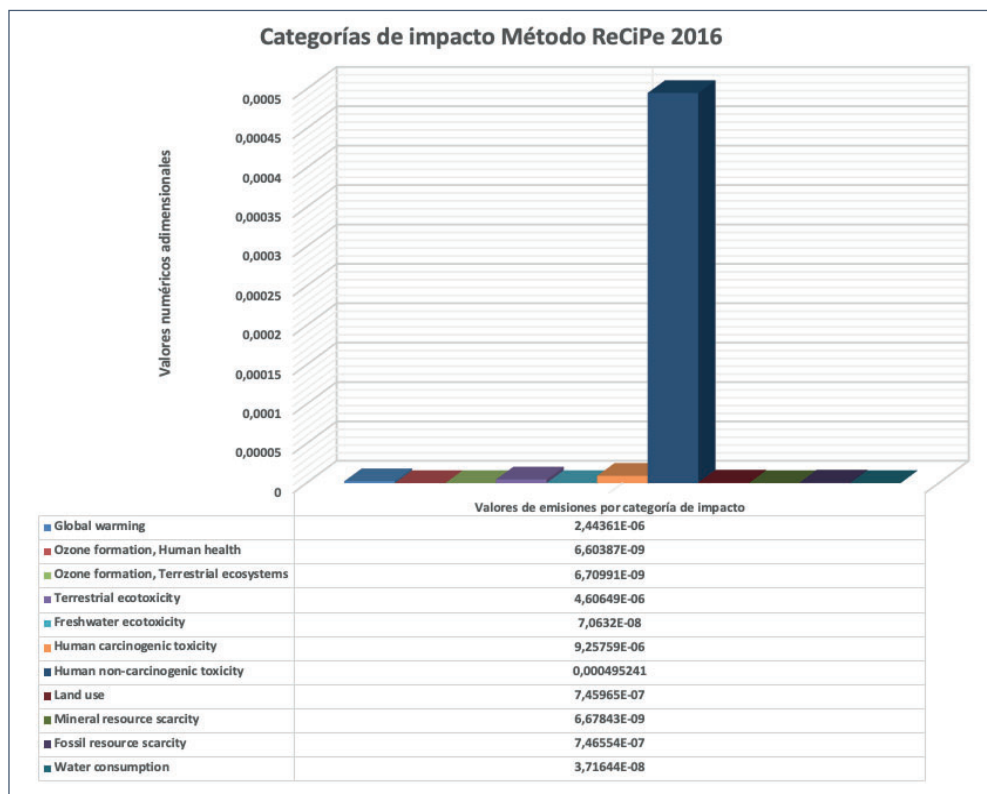


Figura 13: Influencia de las categorías de impacto en el uso de papel para la realización de acciones formativas

Comentarios sobre el gráfico:

En el gráfico correspondiente a la Figura 13 se observa que de todas las categorías de impacto seleccionadas para este estudio aquella que representa un valor más elevado es el correspondiente a la toxicidad humana no carcinogénica y esto se debe a los tóxicos generados en los diferentes procesos de obtención del papel. El siguiente valor diferenciador, pero a mucha menos distancia, corresponde a la categoría toxicidad humana carcinogénica. En tercera posición se encuentra la influencia de la ecotoxicidad terrestre provocada por los vertidos al terreno de diferentes fluidos en el proceso de obtención del papel. Por último, se observa detrás de las anteriores la categoría correspondiente al calentamiento global debido, principalmente, a la deforestación de los bosques para la generación del papel.

Resumiendo, el mayor problema que supone la producción de papel está orientado hacia el área de la salud.

Siguiendo el orden establecido en los casos anteriores, se procede a realizar el análisis medioambiental para conocer la influencia del uso de papel en el proceso formativo mediante las dos metodologías que se están utilizando para este informe.

Para ello, se han tenido en cuenta una serie de supuestos que nos han conducido al cálculo del peso de cada uno de los folios utilizados por el alumno y que lleva asociada una cantidad determinada de emisiones de CO₂ debidas a los procesos de obtención de este producto.

Para entender este proceso se ha considerado el cálculo de una cantidad de papel expresada inicialmente en volumen consumido por un determinado número de alumnos en la realización de diferentes actividades como pueden ser apuntes de sesiones teóricas, tareas y trabajos, exámenes, etc. La valoración cuantitativa de lo anterior se explica con precisión en el apartado correspondiente.

Consideraciones: en este estudio no se ha considerado el papel consumido en la formación online que, aunque existe, su cantidad es tan solo testimonial, ya que el alumno que opta por esta modalidad realiza la inmensa mayoría de las actividades de forma digital.

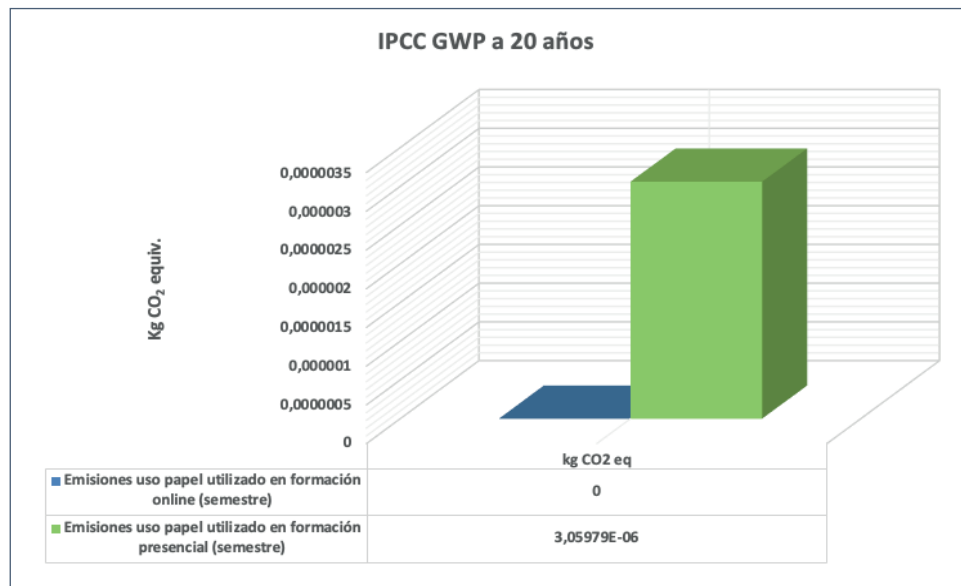


Figura 14: comparativa de emisiones de CO₂, expresadas en Kg CO₂ equiv. correspondientes al consumo de papel para cada tipo de formación

Comentarios sobre el gráfico

Como se aprecia en la Figura 14, aplicando la metodología IPCC GWP a 20 años se observa el impacto producido por las emisiones de CO₂ correspondiente al uso de papel utilizado en la formación presencial tomando como referencia el período de un semestre. La comparación con las emisiones de la formación online es tan solo orientativa debido a que la cantidad de papel utilizada en esta es despreciable comparado con la formación presencial. Debido a ello, este análisis nos aporta, de forma unitaria, las emisiones de CO₂ procedentes de la formación presencial.

Procedemos al análisis mediante la metodología GHG Protocol v1.02 incorporando los datos obtenidos en el inventario para las diferentes fuentes de emisiones de CO₂.

Para este análisis se ha considerado el consumo de papel para un aula de 30 alumnos durante 1 semestre y con los datos aportados por el inventario se obtiene el siguiente gráfico:

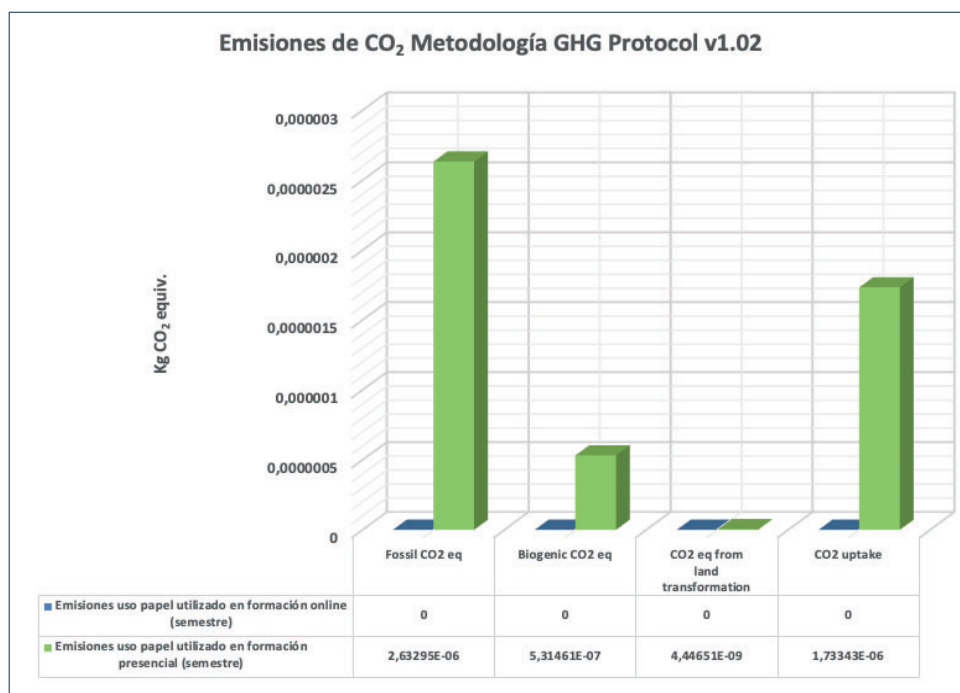


Figura 15: emisiones cuantitativas de CO₂ de diferentes orígenes en Kg CO₂ equiv. correspondientes al consumo de papel por aula de 30 alumnos y un período de 1 semestre

Comentarios sobre el gráfico

En la Figura 15 se representa, de forma cuantitativa, las emisiones de CO₂ en unidades de CO₂ equiv. para cada una de las formas de emisión contempladas, producidas por el consumo de papel por 30 alumnos durante 1 semestre en las dos modalidades formativas.

Como se observa, las principales fuentes de emisión de CO₂ son las procedentes de combustibles fósiles seguidas de las emisiones *uptake* y por último las de origen biogénico.

El elevado valor en las emisiones de CO₂ por fuentes fósiles es debido a los procesos energéticos involucrados en la producción de papel.

Respecto al segundo valor más alto correspondiente a fuentes *uptake* se trata de la cantidad de CO₂ capturada y almacenada por sistemas naturales o artificiales. Esto supone que un alto valor de en la fuente CO₂ *uptake* es positivo desde una perspectiva ambiental, ya que implica una mayor captura de carbono y contribuye a reducir los niveles de CO₂ atmosférico.

En cuanto al tercer valor más alto, fuente de CO₂ de origen biogénico, supone que el impacto de las emisiones en el clima procedentes de ella pueden ser reabsorbidas de manera equilibrada en el ecosistema.

5.5. Uso de equipos electrónicos y periféricos para la realización de las actividades formativas implicados en ambas modalidades

El uso de equipos electrónicos en la formación presencial tiene un impacto significativo en el medioambiente, tanto positivo como negativo. Este impacto está relacionado con el ciclo de vida de los dispositivos electrónicos y con el consumo de energía asociado a su utilización. Considerando su incidencia sobre las principales áreas de influencia medioambiental se pueden destacar las siguientes:

► Impactos Negativos

Extracción de recursos naturales:

- **Materiales críticos:** los dispositivos electrónicos requieren metales raros como el litio, el cobalto y el tantalio, cuya extracción genera deforestación, degradación del suelo y contaminación de agua y aire.
- **Impactos sociales:** la minería en algunos países implica condiciones laborales precarias y conflictos sociales.

Producción de dispositivos:

- **Consumo energético:** la fabricación de equipos electrónicos es intensiva en energía y agua, lo que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero.
- **Generación de residuos tóxicos:** durante la fabricación se producen desechos químicos que pueden contaminar ecosistemas.

Uso de energía durante la vida útil:

- **Consumo eléctrico:** el uso de ordenadores, tablets y servidores para el almacenamiento en la nube aumenta la demanda energética. Si esta energía proviene de fuentes no renovables, se generan emisiones significativas de CO₂.
- **Conexión a internet:** las plataformas de aprendizaje online y los servicios en la nube utilizan centros de datos, que requieren grandes cantidades de energía para su funcionamiento y refrigeración.

Desechos electrónicos:

- **Obsolescencia programada:** los equipos electrónicos suelen tener ciclos de vida cortos, lo que genera grandes volúmenes de residuos electrónicos.
- **Manejo inadecuado de residuos:** muchos dispositivos terminan en vertederos sin un reciclaje adecuado, liberando metales pesados y compuestos tóxicos al medioambiente.

► Impactos Positivos

Reducción del uso de papel:

- **Digitalización del aprendizaje:** el uso de equipos electrónicos puede disminuir la necesidad de materiales impresos, lo que contribuye a la conservación de bosques y reduce el uso de agua y productos químicos asociados a la producción de papel.

Movilidad reducida:

- **Formación en línea:** las clases virtuales y los recursos digitales disminuyen la necesidad de transporte físico, reduciendo así las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del desplazamiento de estudiantes y profesores.

Optimización de recursos:

- **Uso eficiente de recursos educativos:** las plataformas digitales permiten compartir materiales entre un número ilimitado de estudiantes, reduciendo el impacto ambiental per cápita.

Para la incorporación de estos equipos al estudio se han considerado aquellos que pueden aportar mayor influencia sobre el impacto medioambiental. Para ello, se han tenido en cuenta dispositivos, consumibles y energía.

5.5.1. Consumo eléctrico para la impresión de 1.350 folios en sistema reprográfico de un centro formativo

Para este estudio se ha considerado la cantidad de 1.350 folios, que es la cantidad susceptible de impresión de contenidos, el resto (3.000) son considerados como material para el uso particular del alumno para tomar apuntes.

La cantidad de tóner necesario para imprimir 1.350 páginas depende de varios factores, como el rendimiento del cartucho de tóner, el porcentaje de cobertura en cada página y el tipo de impresora.

Normalmente, el rendimiento de un cartucho de tóner se mide en la cantidad de páginas que puede imprimir con una cobertura del 5% en un folio tipo A4. Esto significa que, aproximadamente, solo el 5% del área total de la página está cubierta con tinta (por ejemplo, un documento de texto promedio).

Pasos para el cálculo de la cantidad de tóner necesario:

- ⇒ Identificación del rendimiento del cartucho de tóner: esto se puede consultar en las especificaciones del cartucho. Por ejemplo, un tóner puede tener un rendimiento de 2.000, 3.000, 5.000 páginas, etc., con una cobertura del 5%.
- ⇒ Ajuste de la cobertura real: si se imprimen documentos con más del 5% de cobertura, como gráficos, imágenes o texto más denso, entonces el rendimiento del tóner será menor. A continuación, se muestra el cálculo con una suposición de rendimiento y cobertura:

Suposiciones:

- ⇒ Rendimiento del tóner: 2.500 páginas al 5% de cobertura.
- ⇒ Cobertura promedio estimada: 5% (en este caso suponemos el estándar, pero podría variar).

Para imprimir 4.350 páginas con una cobertura del 5%, serían necesarios el siguiente número de cartuchos:

$$\text{Cartuchos Tóner} = \frac{1.350 \text{ páginas}}{2.500 \text{ páginas/cartucho}} = 0,54 \text{ cartuchos}$$

Esto significa que sería necesario 1 cartucho de tóner si el rendimiento es de 2.500 páginas por cartucho.

Consideraciones:

- ⇒ Si los documentos tienen más del 5% de cobertura, se necesitará más tóner.
- ⇒ Si se utiliza un cartucho de mayor rendimiento (por ejemplo, 5.000 páginas), se necesitarían menos cartuchos.

Es importante verificar el rendimiento específico del cartucho de tóner que estás utilizando para obtener una estimación más precisa.

Para calcular el consumo energético de un sistema de impresión en un centro formativo para imprimir 1.350 folios, es necesario tener en cuenta algunos factores, como el tipo de impresora, la eficiencia del sistema y el consumo energético de la impresora mientras está imprimiendo. Estos factores son:

- ⇒ Tipo de impresora: las impresoras láser son las más comunes en entornos universitarios debido a su velocidad y costo por página más bajo en comparación con las impresoras de inyección de tinta.
 - Una impresora láser típica consume entre 300 y 600 vatios mientras imprime.
 - El consumo en modo de espera (cuando la impresora está encendida pero no está imprimiendo) suele ser mucho menor, alrededor de 5-15 W.
- ⇒ Tiempo de impresión: la cantidad de tiempo que la impresora está en funcionamiento depende de la velocidad de impresión, que se mide en páginas por minuto (PPM). Las impresoras láser rápidas utilizadas en estos ambientes suelen imprimir entre 20 y 50 PPM.
- ⇒ Cálculo del tiempo de impresión: si se supone una impresora con una velocidad promedio de 30 PPM. Para imprimir 4.350 folios:

$$\text{Tiempo de impresión (minutos)} = \frac{1.350 \text{ folios}}{30 \text{ PPM}} = 45 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo de impresión (minutos)} = \frac{45 \text{ minutos}}{60 \text{ minutos/hora}} \approx 0,75 \text{ horas}$$

- ⇒ Cálculo del consumo energético: para calcular el consumo energético, se supone un valor promedio de 400 W (0,4 kW) mientras la impresora está imprimiendo.

$$\text{Energía consumida (kWh)} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Tiempo (horas)}$$

$$\text{Energía consumida} = 0,4 \text{ kW} \times 0,75 \text{ horas} = 0,30 \text{ kWh}$$

- ⇒ Consumo en modo de espera: si se considera que la impresora pasa tiempo en modo de espera antes o después de imprimir, y el consumo en este modo es de 10 W, se puede añadir una estimación. Si se supone que la impresora pasa 1 hora en modo de espera:

$$\text{Energía en modo de espera} = 0,01 \text{ kW} \times 1 \text{ hora} = 0,01 \text{ kWh}$$

- ⇒ Consumo total: sumando ambos valores: Consumo total = 0,30 kWh + 0,01 kWh ≈ 0,003 kWh

En resumen, el consumo energético de un sistema de impresión de un centro formativo para imprimir 1.350 folios utilizando una impresora láser de 400 W sería de aproximadamente 0,003 kWh. Este consumo puede variar ligeramente según el modelo de la impresora, su eficiencia y el tiempo que pasa en modo de espera.

5.5.2. Impacto de un ordenador portátil utilizado para la formación

El impacto ambiental de un ordenador portátil utilizado en la formación se puede analizar a lo largo de su ciclo de vida, que abarca la extracción de materiales, fabricación, uso y disposición final. Estos impactos consideran la fase de producción, la de uso y el fin de vida. Cada una de ellas conlleva una serie de aspectos relacionados con las mismas:

Fase de Producción:

- ⇒ Extracción de materiales: los ordenadores portátiles contienen materiales como aluminio, cobre, oro, litio y tierras raras (neodimio, disprosio, etc.). Por otro lado, la minería de estos recursos genera deforestación y pérdida de biodiversidad, contaminación de agua y aire por el uso de productos químicos en la extracción y altas emisiones de CO₂, especialmente en la extracción de metales y tierras raras.
- ⇒ Fabricación: la fabricación de un portátil requiere aproximadamente 300 kWh de energía, lo que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. Por otro lado, genera residuos tóxicos que incluyen subproductos químicos como solventes y metales pesados que pueden contaminar el suelo y el agua.

Fase de Uso:

- ⇒ Consumo energético: los portátiles suelen ser más eficientes que los ordenadores de sobremesa. Consumen entre 20 y 50 vatios por hora, dependiendo de la tarea. Sin embargo, el uso prolongado y la conexión constante a la red eléctrica o a internet (como videollamadas o descargas de datos) incrementa la demanda energética. Si la electricidad proviene de fuentes no renovables, se generan emisiones de CO₂.
- ⇒ Impacto por conectividad: el uso de plataformas online (e-learning, almacenamiento en la nube) requiere centros de datos, que son responsables de aproximadamente el 2% de las emisiones globales de carbono.
- ⇒ Baterías: las baterías de litio tienen una vida útil limitada, y su reemplazo aumenta el impacto ambiental debido al proceso de producción y desecho.

Fase de Fin de Vida:

- ⇒ Desechos electrónicos: un portátil desechado genera entre 2 y 4 kg de residuos electrónicos, que incluyen plásticos, metales pesados (plomo, mercurio) y compuestos bromados. Si no se reciclan adecuadamente, estos materiales pueden filtrarse al suelo y al agua, causando toxicidad para los ecosistemas y la salud humana.

- ⇒ **Reciclaje y reutilización:** los portátiles tienen un bajo índice de reciclaje efectivo (menos del 20% en muchos países), y a menudo terminan en vertederos o se exportan a países en desarrollo donde su gestión es informal y contaminante.

De forma general, los principales impactos cuantitativos son: la huella de carbono total, que estima una producción entre 200 y 300 kg de CO₂ durante su ciclo de vida; por otro lado, el consumo de recursos hídricos, ya que la producción de un portátil requiere aproximadamente 190.000 litros de agua, principalmente para la minería y la fabricación; por último, el impacto en recursos no renovables porque los metales utilizados en los portátiles son finitos y su extracción está asociada con altos costos ambientales.

5.5.3. Impacto de un ordenador sobremesa utilizado para la formación

El impacto ambiental que supone la producción de un ordenador de sobremesa utilizado para la formación es significativo debido a su mayor consumo de recursos y energía en comparación con un portátil. Este impacto puede analizarse a lo largo de su ciclo de vida: producción, uso y disposición final.

Fase de Producción:

- ⇒ **Extracción de materiales:** los ordenadores de sobremesa contienen componentes como aluminio, cobre, silicio, plásticos y metales raros (litio, cobalto, oro, tierras raras). Por otro lado, la minería de estos materiales genera deforestación y destrucción de hábitats, contaminación de agua y aire por el uso de productos químicos en la extracción y altas emisiones de CO₂, especialmente en la extracción y refinado de metales.
- ⇒ **Fabricación:** la fabricación de un ordenador de sobremesa requiere aproximadamente 400-600 kWh de energía, más que un portátil, debido a su tamaño y a la cantidad de materiales utilizados. Por otro lado, la generación de residuos tóxicos que incluye subproductos químicos como solventes y metales pesados que pueden contaminar el suelo y el agua.

Fase de Uso:

- ⇒ **Consumo energético:** los ordenadores de sobremesa consumen más energía que los portátiles, generalmente entre 200 y 500 vatios por hora, dependiendo de los componentes y el uso. Componentes como monitores externos y tarjetas gráficas avanzadas incrementan aún más el consumo energético. Se puede decir que, a lo largo de un año, un ordenador de sobremesa puede consumir entre 200 y 1000 kWh de electricidad, dependiendo de su uso diario.
- ⇒ **Impacto por conectividad y aprendizaje en remoto:** al igual que los portátiles, los ordenadores de sobremesa dependen de la conexión a internet para actividades como videoconferencias, almacenamiento en la nube y e-learning, que requieren centros de datos con un alto consumo energético. Si la electricidad proviene de fuentes no renovables, esto aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero.

Fase de Fin de Vida:

- ⇒ **Generación de residuos electrónicos:** un ordenador de sobremesa genera más residuos que un portátil, debido a su mayor tamaño y cantidad de componentes, produciendo entre 15 y 25 kg de residuos electrónicos e incluye materiales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio y compuestos bromados presentes en los monitores, placas base y baterías.
- ⇒ **Reciclaje y reutilización:** los ordenadores de sobremesa suelen tener una tasa de reciclaje baja, y muchas partes terminan en vertederos, por lo que, si no se gestionan adecuadamente, los residuos pueden liberar sustancias tóxicas que contaminan el suelo y el agua.

Aspecto	Ordenador de sobremesa	Ordenador portátil
Consumo energético	Alto (200-500 W/h)	Bajo (20-50 W/h)
Huella de carbono	500-1000 kg CO ₂	200-300 kg CO ₂
Generación de residuos	15-25 kg	2-4 kg

Tabla 3: comparación de los principales aspectos ambientales de los dos tipos de computadoras consideradas en el estudio

Los ordenadores de sobremesa, aunque son herramientas potentes para la formación, tienen un impacto ambiental mayor que los portátiles debido a su mayor consumo energético, generación de residuos y uso de materiales. Para mitigar estos efectos, es crucial optimizar su uso, fomentar el reciclaje y priorizar fuentes de energía renovable.

5.5.4. Consumo de un ordenador portátil durante 5 horas

El consumo de energía de un ordenador portátil depende principalmente de su potencia y del uso que se le dé. Los portátiles modernos son bastante eficientes en términos de consumo energético, pero este puede variar según el modelo, el tipo de tareas (navegación web, edición de vídeos, juegos, etc.) y el estado de la batería.

Los portátiles suelen tener una potencia que varía entre 30 y 100 vatios (W), aunque los más eficientes o ligeros (como los ultraportátiles) consumen entre 30 y 50 W, mientras que los portátiles para tareas más exigentes (como juegos o edición de vídeo) pueden alcanzar 70 a 100 W o más.

Para simplificar el cálculo, usaremos algunos escenarios:

- Portátil de bajo consumo: 30 W.
- Portátil promedio: 50 W.
- Portátil de alto rendimiento: 90 W.

El consumo de energía se mide en kilovatios-hora (kWh), y se calcula mediante la expresión:

$$\text{Energía (kWh)} = \frac{\text{Potencia (W)} \times \text{Tiempo (horas)}}{1.000}$$

Cálculo del consumo en 5 horas para un portátil promedio (50 W):

$$\text{Energía} = \frac{50 \text{ (W)} \times 5 \text{ (horas)}}{1.000} = 0,25 \text{ kWh}$$

El coste estimado en términos económicos se obtiene multiplicando el consumo en kWh por el precio de la electricidad en nuestra área. Si se supone que el costo de la electricidad es de 0.15 € por kWh:

$$\text{Portátil promedio: } 0,25 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €/kWh} = 0,0375 \text{ € (3.75 céntimos)}$$

Este cálculo permite hacerse una idea del consumo de energía de un portátil durante 5 horas y el coste asociado.

5.5.5. Consumo de un *videowall* y proyector de aula de un centro formativo durante 5 horas

Uno de los equipos electrónicos más utilizados en la formación presencial es la pizarra electrónica o *videowall*. Para este estudio se ha considerado una pantalla de 110 pulgadas y un ordenador de sobremesa sin pantalla (se considera que la proyección de los contenidos se realiza sobre la pizarra electrónica).

Para el caso del *videowall* se ha tenido en cuenta el peso de los componentes del mismo, lo cual tiene influencia sobre el consumo energético para su funcionamiento.

El peso de un *videowall* de 110 pulgadas depende de varios factores, como es el tipo de panel utilizado (LED, LCD), la tecnología, la marca y el marco o estructura que lo sostiene.

Para dar una estimación más precisa, es útil conocer el tipo exacto de *videowall* que se está considerando.

Teniendo en cuenta algunos datos aproximados basados en los estándares actuales de estos equipos se encuentran:

- ▶ **Videowalls de LED:** están compuestos por múltiples paneles modulares. Cada panel de LED varía en tamaño y peso, dependiendo del *pixel pitch* (la distancia entre píxeles).

Un panel LED promedio de 55 pulgadas puede pesar entre 10 y 15 kg.

Un *videowall* de 110 pulgadas generalmente sería una combinación de paneles más pequeños, pero si se tiene en cuenta una estructura completa de 110 pulgadas de LED, el peso podría estar en el rango de 80 a 120 kg, dependiendo de la densidad de los módulos y la estructura de soporte.

- ▶ **Videowalls de LCD:** un *videowall* de 110 pulgadas de LCD generalmente consistirá en una combinación de pantallas de 55 pulgadas o más pequeñas. Cada pantalla de 55 pulgadas pesa entre 25 y 35 kg aproximadamente, dependiendo del modelo y los marcos.

Para una configuración de 110 pulgadas, el peso total estaría en el rango de 70 a 100 kg.

Factores adicionales:

- ▶ **Montaje y soporte:** las estructuras y soportes que se usan para mantener el *videowall* en su lugar pueden añadir una cantidad considerable de peso adicional, entre 20 y 40 kg.
- ▶ **Accesorios:** las fuentes de alimentación, cables y otros componentes también pueden incrementar el peso total.

Resumiendo, un *videowall* de 110 pulgadas podría pesar entre 80 y 160 kg aproximadamente, dependiendo de la tecnología y la configuración específica.

El consumo de una pizarra electrónica depende principalmente de su tamaño, tecnología (LED, LCD) y sus características, como conectividad o el uso de proyectores adicionales. A continuación, se procede a una estimación basada en el consumo promedio de una pizarra electrónica típica.

Las pizarras electrónicas modernas suelen tener un consumo de energía que varía entre 100 y 300 W, dependiendo del tamaño y las funcionalidades integradas. Si se utiliza un proyector junto con la pizarra, este puede agregar otros 200 a 400 W al consumo total.

Para el cálculo, se consideran como escenario una pizarra electrónica + proyector:

Consumo total de 400 W (150 W de la pizarra + 250 W del proyector)

Para calcular el consumo de energía durante 5 horas, se utiliza la expresión:

$$\text{Energía (kWh)} = \frac{\text{Potencia (W)} \times \text{Tiempo (horas)}}{1.000}$$

Cálculos: pizarra electrónica + proyector (400 W):

$$\text{Energía} = \frac{400 \text{ (W)} \times 5 \text{ (horas)}}{1.000} = 2,00 \text{ kWh}$$

En términos económicos, se puede multiplicar el consumo en kWh por el precio de la electricidad en la zona. Por ejemplo, si el costo de la electricidad es de 0.15 € por kWh:

$$2,00 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €/kWh} = 0,30 \text{ € (30 céntimos)}$$

Este cálculo da una idea del consumo de energía de una pizarra electrónica durante 5 horas, tanto en términos de energía como de costo.

5.5.6. Análisis de impacto medioambiental atribuido a equipos electrónicos y periféricos

Para la realización del análisis medioambiental de los equipos electrónicos utilizados en la formación se han tenido en cuenta los dispositivos más utilizados para la realización de las principales actividades destinadas a tal fin. Para ello, se han considerado los impactos provocados por el consumo eléctrico, uso de productos necesarios para el funcionamiento de los diferentes equipos y los procesos involucrados en la fabricación de todos los productos considerados.

Por un lado, se ha calculado la cantidad de tóner necesario para la impresión de las páginas consideradas en el estudio anterior para la realización de las principales actividades formativas como son apuntes, ejercicios y exámenes. En base a esos cálculos se ha obtenido un número determinado de cartuchos de tóner para la impresión de los folios necesarios para llevar a cabo las actividades anteriormente mencionadas.

El proceso anterior conlleva un consumo eléctrico que también se ha considerado a la hora de medir el impacto debido a las emisiones de CO₂.

Por otro lado, se ha considerado el uso de diferentes tipos de computadoras de uso particular y también general en el caso de un aula de un centro destinado a la formación presencial que permita manejar los contenidos formativos en pizarras electrónicas o proyectores. Por ello, para el cálculo de los impactos medioambientales se han considerado los procesos involucrados en la producción de estos dispositivos y su ciclo de vida. Unido a estos impactos también se han tenido en cuenta aquellos generados por el consumo eléctrico durante un tiempo estimado de funcionamiento en base a una potencia estimada.

Consideraciones: en este estudio se han diferenciado los dispositivos utilizados en ambos tipos de formación objeto de este estudio. La diferenciación se basa en el uso de tan solo un ordenador portátil para la formación online y el resto de dispositivos considerados en este apartado se asignan a la formación presencial.

No se ha considerado el uso de papel en la formación online ya que en esta modalidad se trabaja, prácticamente en su totalidad, con documentos electrónicos. Aunque es cierto que la mayoría de los estudiantes disponen de una impresora de pequeño tamaño para uso particular, su uso es mínimo y puede considerarse despreciable a la hora del cálculo de impactos para esta modalidad.

Considerando la explicación anterior, se procede al análisis medioambiental de este apartado utilizando el método IPCC GWP a 20 años para conocer las emisiones de CO₂ provocadas por estos equipos mediante la Figura 16.

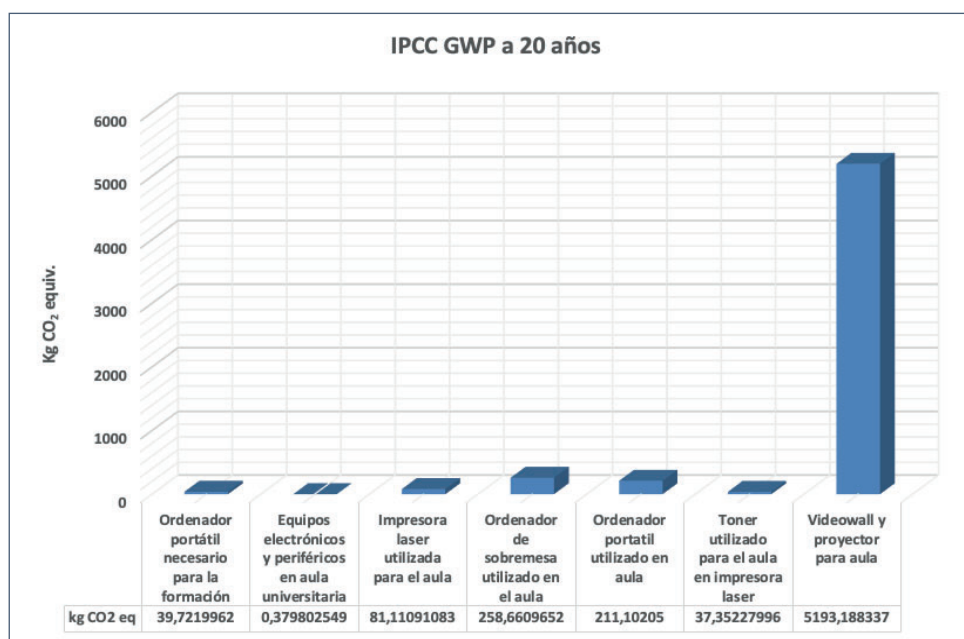


Figura 16: comparativa de emisiones de CO₂, expresadas en Kg CO₂ equiv. correspondientes al uso de equipos electrónicos y periféricos

Comentarios sobre el gráfico

Mediante el gráfico correspondiente a la Figura 16 se representan las emisiones de CO₂ equiv. de cada uno de los equipos considerados en el estudio. Como se observa, la mayor cantidad de emisiones es debida al uso de *videowalls* y proyectores de un aula de centros destinados a la formación presencial debido principalmente a los procesos de producción de estos equipos y, en menor medida, a la energía consumida por los mismos. El segundo valor más elevado de emisiones es debido al ordenador de sobremesa por las mismas razones que en el caso anterior, seguido por el ordenador portátil utilizado en el aula y la impresora láser utilizada para la impresión de los folios necesarios para la realización de las actividades formativas.

Existe una diferencia importante entre los valores que aparecen para el ordenador portátil para un aula de un centro de formación presencial y para uso particular de un alumno que se forma mediante la modalidad online y se debe principalmente al tipo de portátil utilizado para cada tipo de formación. Esto es por los requerimientos diferentes para cada tipo formativo siendo más exigente y de mayor consumo eléctrico el portátil utilizado en la formación presencial por su dependencia de otros periféricos.

Es importante mencionar que el tóner de impresora es considerado un residuo peligroso debido a sus componentes químicos y su impacto ambiental si no se maneja adecuadamente, lo que conlleva una serie de riesgos ya que, si se desecha incorrectamente, sus partículas pueden contaminar suelos y cuerpos de agua, afectando la vida silvestre y los ecosistemas, por lo que es necesario contar con empresas especializadas en el reciclaje de estos componentes para cumplir con la normativa medioambiental. Esta misma situación se ha de contemplar sobre los equipos electrónicos llegado el momento de su renovación.

El siguiente paso es realizar el análisis mediante la metodología GHG Protocol v1.02 que nos permite conocer la procedencia de las emisiones de CO₂ desde diferentes fuentes y mediante los datos de inventario se obtiene el siguiente gráfico correspondiente a la Figura 17:

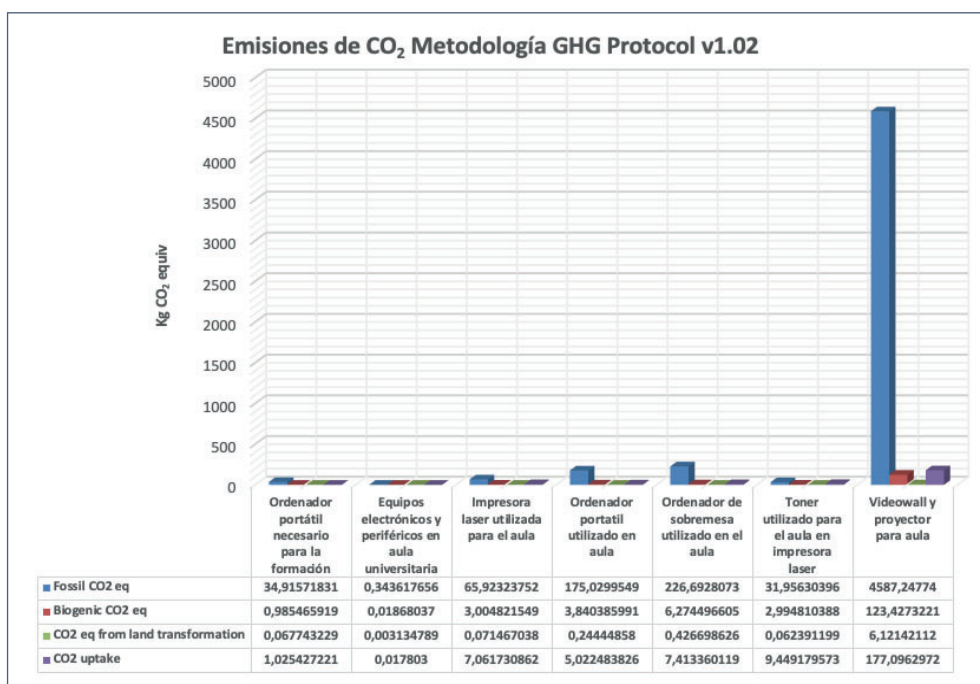


Figura 17: emisiones cuantitativas de CO₂ de diferentes orígenes en Kg CO₂ equiv. correspondientes al uso de equipos electrónicos y periféricos

Comentarios sobre el gráfico

En la figura 17 se representa en el eje de ordenadas los Kg de CO₂ equiv. aportados por los diferentes dispositivos electrónicos considerados mostrados en el eje de abscisas. En cada una de las barras se muestra el valor de la procedencia de las emisiones de CO₂.

Como se puede observar, la mayor cantidad de emisiones para cada dispositivo electrónico tiene una procedencia fósil seguido de las emisiones *uptake* que, como vimos, correspondían al balance entre el CO₂ captado por vegetación y el emitido por los diferentes procesos involucrados en la producción de los diferentes dispositivos.

Si nos referimos al impacto generado por los dispositivos electrónicos, el que más influye en las emisiones es el correspondiente a *videowalls* y proyectores seguido por el ordenador de sobremesa, el ordenador portátil de un aula de centro formativo en la modalidad presencial y la impresión láser. Por último, se encuentran los impactos generados por el ordenador portátil utilizado en la formación online y el tóner utilizado para la impresión de folios en formación presencial.

5.6. Incidencia del transporte en la formación presencial

El transporte vinculado a la formación presencial tiene un impacto ambiental significativo, ya que contribuye a diversas categorías de impacto ambiental. Estas categorías se refieren a las distintas formas en que el transporte afecta el entorno natural y la salud de las personas. A continuación, se detallan las principales categorías de impacto ambiental del transporte relacionadas con la formación presencial:

► Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI):

Impacto climático: el transporte, en especial el uso de vehículos motorizados (autos particulares, autobuses), genera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x), que son gases de efecto invernadero. Estos contribuyen al cambio climático global. Las emisiones derivadas de los desplazamientos diarios hacia los centros educativos aumentan la huella de carbono, especialmente en áreas donde predominan los automóviles privados.

En los centros educativos que dependen más del transporte privado debido a la falta de transporte público eficiente, el impacto ambiental es mayor.

► Contaminación del aire:

Emisiones de partículas finas: los vehículos que funcionan con combustibles fósiles, como los automóviles y autobuses, emiten partículas finas (PM₁₀ y PM_{2,5}) y otros contaminantes como dióxidos de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos contaminantes afectan la calidad del aire, lo que tiene un impacto directo en la salud respiratoria y la calidad de vida de los estudiantes y docentes que deben desplazarse diariamente.

En zonas urbanas con un alto volumen de tráfico debido a la concentración de instituciones educativas, la contaminación del aire puede ser un problema grave, generando efectos a largo plazo en la salud de la comunidad.

► Consumo de energía:

Uso de combustibles fósiles: el transporte terrestre (autos, autobuses) depende en gran medida de combustibles no renovables, como la gasolina y el diésel, lo que contribuye a la degradación de recursos naturales. El aumento del tráfico hacia los centros educativos durante las horas pico incrementa la demanda energética, agravando el problema.

Energías alternativas: si bien el uso de medios de transporte eléctricos o híbridos puede mitigar el impacto, su implementación aún es limitada en muchos lugares, lo que hace que la huella energética siga siendo alta.

► Ruido ambiental:

Contaminación acústica: el tráfico de vehículos asociado con el transporte hacia las instituciones educativas genera altos niveles de ruido, lo que afecta negativamente el bienestar de las personas en las ciudades. La exposición prolongada a ruido excesivo puede causar estrés, problemas de concentración y trastornos del sueño en la población, incluidos los estudiantes y docentes.

Centros educativos urbanos: los colegios y universidades ubicados en áreas de tráfico intenso pueden verse más afectados por la contaminación acústica, afectando la calidad del ambiente de estudio y enseñanza.

► **Impacto en la biodiversidad y uso del suelo:**

Fragmentación de hábitats: la expansión de infraestructuras de transporte (carreteras, estacionamientos) alrededor de los centros educativos conlleva la pérdida de hábitats naturales y la fragmentación de ecosistemas. En áreas rurales, la construcción de carreteras para mejorar el acceso a instituciones educativas puede interferir con la flora y fauna locales.

Espacios urbanos: en entornos urbanos, la construcción de vías y estacionamientos reduce los espacios verdes y afecta la calidad ambiental de las comunidades donde se encuentran los centros educativos.

► **Producción de residuos:**

Residuos derivados del transporte: el transporte genera residuos, tanto en el mantenimiento de vehículos como en el desgaste de neumáticos, piezas y fluidos (aceites, refrigerantes). Estos residuos, si no se gestionan adecuadamente, pueden contaminar el suelo y los cuerpos de agua cercanos.

Gestión de desechos: el aumento del uso de transporte conlleva una mayor producción de desechos, lo que añade presión a los sistemas locales de gestión de residuos.

► **Impacto en la salud humana:**

Problemas de salud respiratoria y cardiovascular: la exposición prolongada a la contaminación del aire causada por el tráfico de vehículos puede contribuir a un aumento de enfermedades respiratorias, como el asma, y enfermedades cardiovasculares. Las áreas urbanas con tráfico intenso cerca de los centros educativos enfrentan riesgos mayores en este aspecto.

Sedentarismo: el uso excesivo de vehículos motorizados en lugar de alternativas como caminar o andar en bicicleta también contribuye al sedentarismo entre los estudiantes, lo que está relacionado con un mayor riesgo de obesidad y enfermedades asociadas.

► **Congestión y eficiencia del transporte:**

Tráfico y consumo de recursos: la congestión de tráfico alrededor de los centros educativos, especialmente en horas de entrada y salida, no solo genera frustración y pérdidas de tiempo, sino que también aumenta el consumo de combustible debido a la ineficiencia en los desplazamientos. Esta congestión contribuye a una mayor emisión de contaminantes en esas áreas específicas.

Transporte público ineficiente: en muchas ciudades, la falta de transporte público eficiente y limpio obliga a más personas a utilizar vehículos privados, exacerbando los problemas ambientales.

Una vez considerados los impactos que genera el transporte en esta modalidad, para nuestro estudio se han tenido presentes tres escenarios dependiendo del tipo de transporte utilizado para el desplazamiento del estudiante hacia y desde su centro formativo. De forma general, se ha estimado una distancia media de 25 Km. (50 Km ida y vuelta) y como medios de transporte mediante vehículo propio, desplazamiento mediante transporte colectivo y ferrocarril de cercanías.

5.6.1. Análisis de impacto medioambiental atribuido al transporte

Como se explicó anteriormente, se han considerado 3 medios de transporte para acudir a los centros formativos en la modalidad presencial, ya que en la modalidad online tan solo se utilizan estos medios para acudir de forma esporádica a exámenes o actividades aisladas, por lo que este apartado no se considera en esta modalidad, ya que los valores correspondientes a las emisiones de CO₂ se consideran despreciables respecto a la modalidad presencial.

Los valores de Kg de CO₂ equivalente para cada modalidad de transporte se reflejan en la figura inferior mediante una serie de datos que son extrapolados a un gráfico de barras.

Consideraciones

Previo al análisis de impacto ambiental, para conocer la incidencia del transporte en el desplazamiento de los alumnos a los centros de estudio, se ha partido de los datos de encuestas realizadas en tres universidades diferentes, ubicadas en Mallorca, Sevilla y La Rioja.

Los patrones de movilidad entre estas presentan valores muy diferentes dependiendo de si el centro formativo se encuentra ubicado en un centro urbano, sus proximidades o si se encuentra alejado de este.

A efectos de los datos recogidos para este estudio y exportándolos a un gráfico de barras en el que se consideran dos rangos de desplazamiento relacionados con la distancia al centro formativo para cada uno de los tipos de transporte más comunes, en lo que se refiere al porcentaje de alumnos que lo utilizan se obtiene:

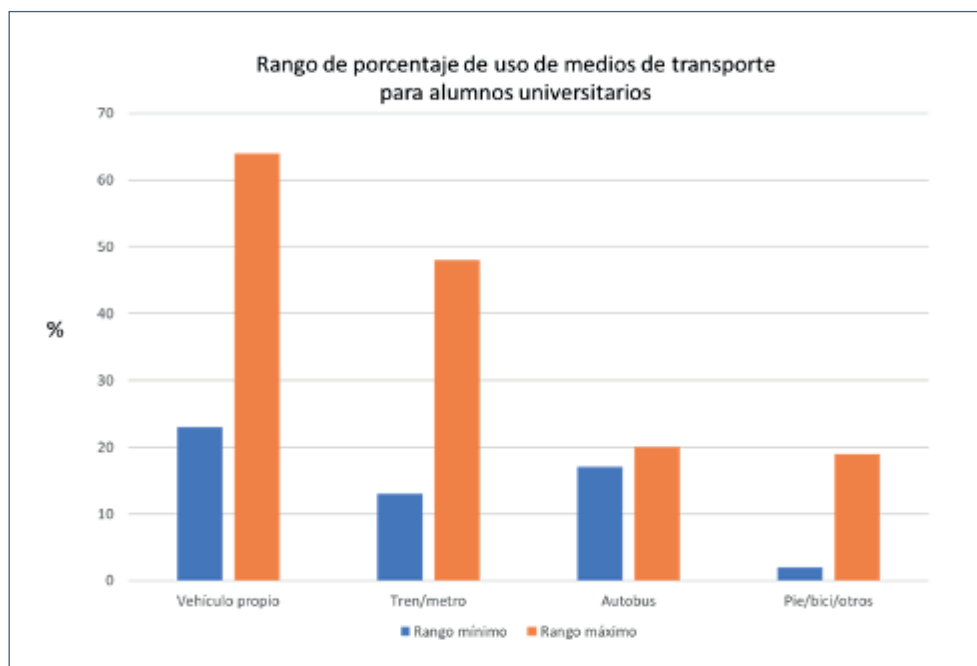


Figura 18: porcentaje de uso de medios de transporte más comunes en función del rango

Observando la Figura 18 se comprueba que para el rango máximo (mayor distancia al centro formativo), más de un 60% de los alumnos utilizan el vehículo propio, casi el 50% utiliza transporte ferroviario, un 20% el autobús y algo menos del 20% se desplazan a pie o bicicleta.

Si nos fijamos en aquellos alumnos que residen a menor distancia del centro formativo, es decir, pertenecerían al rango mínimo del estudio, paradójicamente más del 20% utiliza el vehículo propio, algo menos del 20% el autobús, algo más del 10% el transporte ferroviario y cerca del 2% lo hacen caminando o en bicicleta.

Retomando el análisis sobre las emisiones de CO₂ producidas por el transporte como medio de desplazamiento para acudir a los centros formativos cabe comentar que se han considerado los tres medios de transporte más comunes utilizados por los alumnos que optan por la formación presencial y cuya incidencia medioambiental es debida al combustible utilizado para este servicio. En este aspecto cabe comentar que para los medios de transporte que se desplazan mediante motores térmicos (vehículo propio y autobús urbano/interurbano) se ha estimado aquellos que utilizan el combustible más económico como es el gasóleo y motores de última generación (EURO 5) optimizados para mitigar las emisiones de CO₂.

La distancia media considerada en el estudio por aquellos alumnos que utilizan estos medios de transporte es de 25 Km. (50 Km ida y vuelta) y las unidades referidas a las emisiones han sido persona.Km. por lo que las emisiones de CO₂ que se obtienen como resultado son las debidas al desplazamiento de 1 alumno.

Utilizando la metodología IPCC GWP a 20 años se obtiene, como en casos anteriores, un inventario con una serie de datos que se representan en la figura 19.

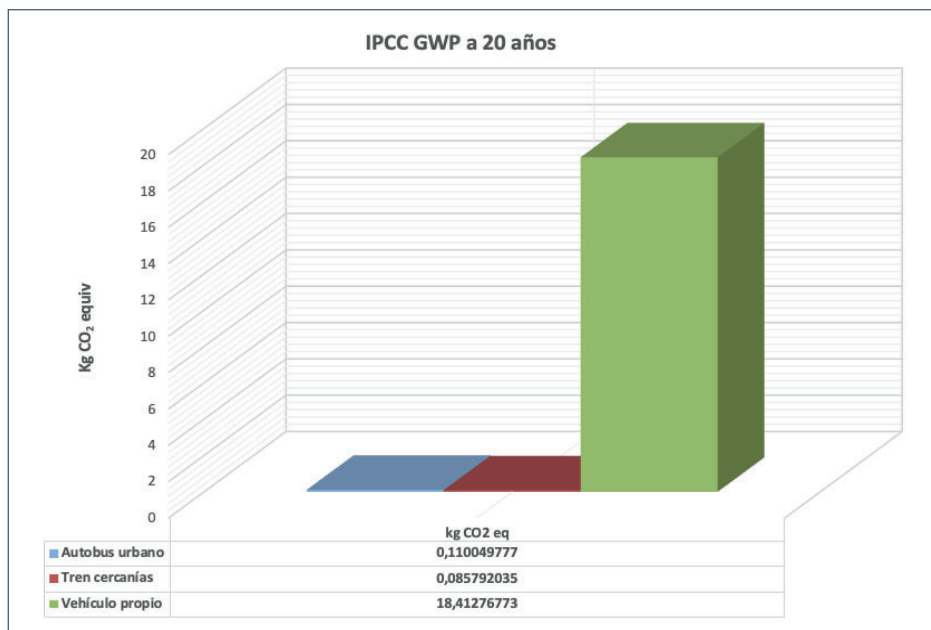


Figura 19: comparativa en emisiones en Kg CO₂ equivalente correspondientes a cada medio de transporte

Comentarios sobre el gráfico

Como se observa en la figura 19 y teniendo en cuenta los valores obtenidos, se puede concluir que el mayor porcentaje de contribución de emisiones de CO₂ corresponde al vehículo privado seguido del transporte colectivo en autobús y por último al transporte en tren de cercanías. En base a lo anterior, el medio de transporte más respetuoso con el medioambiente sería el transporte mediante tren de cercanías, aunque ello en función de la disponibilidad para cada uno de los alumnos.

Para conocer las fuentes de procedencia de las emisiones de CO₂ se recurre al análisis mediante la metodología GHG Protocol y a partir de los datos obtenidos se obtiene el gráfico que se representa mediante la Figura 20.

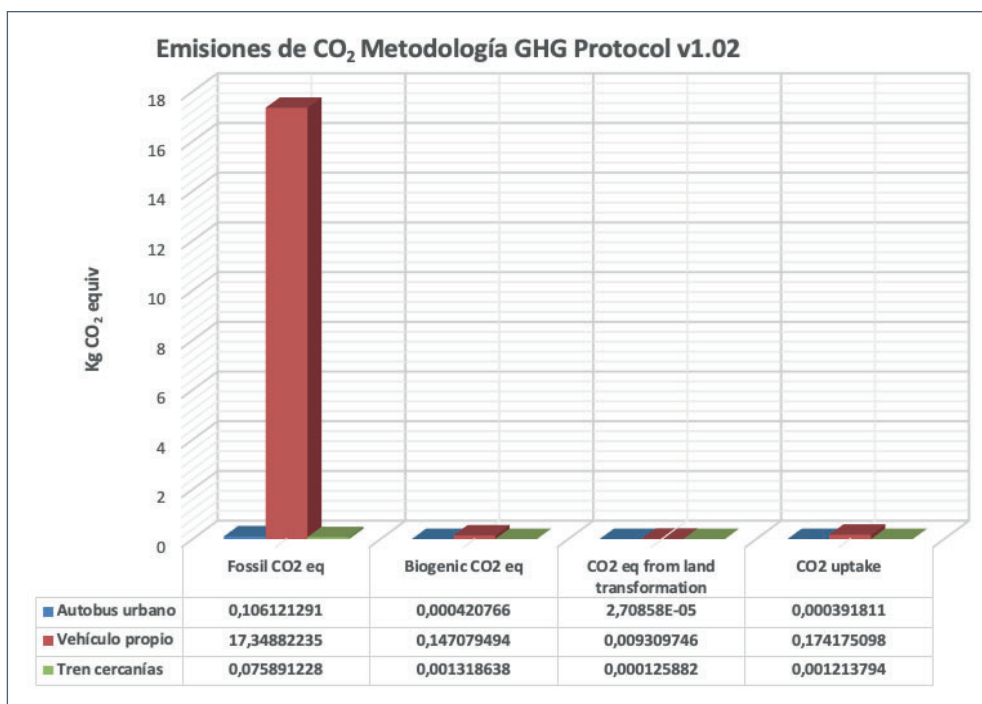


Figura 20: emisiones cuantitativas de CO₂ desde diferentes fuentes, en Kg CO₂ equiv. correspondientes a cada medio de transporte

Comentarios sobre el gráfico

Observando la Figura 20 en la que se representan los valores numéricos correspondientes a las emisiones de CO₂ de diferente procedencia para cada uno de los medios de transporte se puede deducir que, para cada una de las fuentes consideradas, la más representativa es la procedente de origen fósil y, dentro de los tres medios de transporte, es el vehículo propio el que más contribuye seguido del autobús urbano que, al transportar mayor número de viajeros, reparte el impacto y, por último, el desplazamiento mediante transporte ferroviario, que utiliza energía eléctrica para su desplazamiento.

Respecto al resto de los orígenes de emisiones, los valores numéricos son muy inferiores a los de origen fósil, pero mantienen el orden de impacto del caso de origen fósil para los que el vehículo particular es el que aporta mayores emisiones en todas las fuentes.

6. Conclusiones

El análisis comparativo del impacto medioambiental entre la formación presencial y la online implica un entendimiento integral de los recursos que ambas modalidades demandan y del impacto a corto y largo plazo que generan en el entorno. La educación online, en su mayor parte, tiende a mostrar beneficios en cuanto a la reducción de las emisiones de CO₂ en cuanto al uso de transporte, recursos materiales y el uso de grandes infraestructuras físicas, pero enfrenta desafíos en el manejo del impacto ambiental derivado del uso masivo de tecnologías. La educación presencial, por su parte, tiene la posibilidad de fomentar una cultura ambiental positiva dentro de las instituciones y de implantar prácticas sostenibles, pero implica un consumo directo de recursos más elevado.

De esta forma, la elección entre la formación presencial y online no solo debe atender a la eficacia educativa, sino también a los efectos ambientales que produce cada modalidad, evaluando si su implementación y desarrollo pueden alinearse con los objetivos de sostenibilidad que demanda la sociedad actual.

Como se ha podido comprobar durante todos los análisis realizados en este estudio, las unidades utilizadas para conocer las emisiones de CO₂ ha sido la de Kg.CO₂ equiv. y esto puede inducir a confusión porque lo que se pretende es conocer los Kg de CO₂ reales emitidos a la atmósfera.

Para conocer la conversión de Kg.CO₂ equiv. a Kg de CO₂ puro es necesario conocer el Potencial de Calentamiento Global (GWP) de los diferentes gases de efecto invernadero involucrados en cada uno de los sistemas estudiados y para ello se recurre a una fórmula básica cuya expresión corresponde a:

$$\text{kg CO}_2 = \frac{\text{kg CO}_2 \text{ equiv.}}{\sum(\text{kg de gas} \times \text{GWP del gas})} = 2,00 \text{ kWh}$$

En todos los casos estudiados los valores de kg.CO₂equivalente ya incluyen las contribuciones de todos los gases de efecto invernadero emitidos por los sistemas considerados. Por lo tanto, para el caso de cada uno de los sistemas:

$$\text{Kg.CO}_2 \text{ equiv.} \approx \text{Kg.CO}_2$$

Una vez revisados todos los aspectos considerados en el estudio que comparan el impacto medioambiental para cada una de las dos modalidades formativas y en virtud de los datos obtenidos en cada uno de ellos se puede concluir para cada uno de ellos que:

► Proceso de acondicionamiento térmico de los recintos implicados en ambas modalidades formativas

El resultado en este caso a partir de los datos de este análisis y los supuestos considerados para las dos metodologías utilizadas es:

- Metodología IPCC GWP a 20 años: se aprecia que las emisiones de CO₂ debidas a la formación presencial son muy superiores a la formación online y esto se debe a que la energía necesaria para conseguir un recinto confortable es mucho mayor en el primer caso.

- Metodología GHG Protocol: se observa que la mayor procedencia de la contribución en las emisiones de CO₂ es debida a los combustibles fósiles como principal aporte energético para conseguir la climatización de los recintos. Como era de esperar, las emisiones procedentes del consumo de combustibles fósiles son muy superiores en la formación presencial. Se comprueba que la suma de los valores de emisiones de CO₂ procedentes de cada una de las fuentes es equivalente al valor obtenido mediante la metodología IPCC GWP a 20 años, lo cual corrobora la precisión analítica en el estudio.

► Proceso de iluminación de los recintos implicados en ambas modalidades formativas

El resultado en este aspecto a partir de los datos de este análisis y los supuestos considerados para las dos metodologías utilizadas es:

- Metodología IPCC GWP a 20 años: mediante esta metodología se comprueba que las mayores emisiones de CO₂ procedentes del consumo de energía necesaria para conseguir una correcta iluminación son debidas a la formación presencial cuando se adopta como unidad funcional 1 recinto. Como en el caso anterior, son muy superiores a la formación online y esto se debe al mayor requerimiento energético para la formación presencial. Si se toma como unidad funcional 1 alumno el resultado mantiene la misma tendencia que en el caso del acondicionamiento térmico, las emisiones de CO₂ se distribuyen y por ello este valor sería superior en la formación online.
- Metodología GHG Protocol: como en el caso anterior, se observa que la mayor procedencia de la contribución en las emisiones de CO₂ es debida a fuentes fósiles como principal aporte energético para conseguir la iluminación de los recintos. Como era de esperar, las emisiones procedentes del consumo de combustibles fósiles son muy superiores en uno de los casos dependiendo de la unidad funcional que se contemple. A diferencia del caso anterior, se observa un mayor aporte de fuentes de origen biogénico y de origen *uptake*, aunque a gran distancia de las fuentes fósiles.

► Proceso de ventilación de los recintos implicados en ambas modalidades formativas

El proceso de ventilación de cualquier recinto supone la renovación del aire contenido en él y se trata de un proceso energético de bajo consumo, lo que supone unas bajas emisiones de CO₂. El resultado en este aspecto a partir de los datos de este análisis y los supuestos considerados para las dos metodologías utilizadas es:

- Metodología IPCC GWP a 20 años: en el caso de tomar como unidad funcional 1 recinto se comprueba que las mayores emisiones de CO₂ procedentes del consumo de energía necesaria para la ventilación de un recinto de un centro formativo de modalidad presencial se debe al mayor volumen de aire a renovar por la mayor superficie y número de alumnos. Como en el caso anterior, son muy superiores a la formación online y esto se debe al mayor requerimiento energético para la ventilación en la formación presencial. Si se toma como unidad funcional 1 alumno, debido a la distribución de las emisiones de CO₂ los valores de estas emisiones resultan mayores en la formación presencial.
- Metodología GHG Protocol: como en los casos anteriores, se observa que la mayor procedencia de la contribución en las emisiones de CO₂ es debida a los combustibles fósiles como principal aporte energético para conseguir la ventilación de los recintos independientemente de la unidad funcional. Aquí, también se observa un mayor aporte de fuentes de origen biogénico y de origen *uptake*.

► Influencia del uso de papel en los dos tipos de modalidades formativas consideradas

El proceso de consumo de papel destinado a la formación es un factor importante a la hora de estudiar los impactos ambientales involucrados en su ciclo de vida. Para todo este estudio se ha supuesto que el consumo de papel en la formación online se considera un valor residual.

En base a lo anterior, se ha utilizado una metodología adicional conocida como ReCiPe 2016 que permite conocer 11 categorías de impacto implicadas en el ecosistema, la salud y los recursos naturales. El resultado en este aspecto a partir de los datos de este análisis y los supuestos considerados para las tres metodologías utilizadas es:

- Metodología ReCiPe 2016 Midpoint (E): atendiendo a los resultados obtenidos para cada categoría de impacto involucrada en el proceso de fabricación de papel se observa que aquella que tiene más influencia en el análisis se corresponde con el área de la toxicidad humana principalmente por los tratamientos sometidos para la obtención de la pasta de papel. También tienen bastante influencia las categorías de impacto correspondientes a la ecotoxicidad terrestre, calentamiento global y el uso

de la tierra. Esto es debido principalmente a la deforestación. Por lo tanto, las áreas afectadas son las correspondientes a la salud y a los ecosistemas.

- Metodología IPCC GWP a 20 años: mediante esta metodología se obtienen únicamente valores de emisiones de CO₂ para la formación presencial, ya que no han sido considerados los consumos de papel en la formación online. Este estudio ha tenido en cuenta una cantidad estimada de folios para la realización de las diferentes actividades propuestas para la formación presencial por un número determinado de alumnos por aula.
- Metodología GHG Protocol: como en los casos anteriores, se observa que la mayor procedencia de la contribución en las emisiones de CO₂ es debida a los combustibles fósiles como principal aporte energético para los procesos de transformación y obtención del papel. En este caso, también tiene gran influencia la procedencia de emisiones *uptake* y esto se debe a la deforestación de los bosques para utilizar la madera en la generación de papel, siendo muy superior a los casos anteriores para esta misma fuente.

► Influencia del uso de equipos electrónicos y periféricos en ambas modalidades formativas

Este análisis supone una gran influencia en las emisiones de CO₂ por la gran cantidad de equipos de este tipo involucrados en la formación, sobre todo en la presencial. Los equipos considerados en este estudio han sido estudiados con detenimiento en el apartado correspondiente del informe y que son los que principalmente se utilizan en la formación.

- Metodología IPCC GWP a 20 años: analizando los resultados obtenidos se observa que las mayores emisiones de CO₂ corresponden al uso de *videowalls* y proyectores para el aula seguido por el ordenador de sobremesa y el ordenador portátil. Estos equipos son utilizados principalmente en la formación presencial. En el mismo estudio se observa que el ordenador portátil utilizado para la formación online tiene grandes emisiones de CO₂, pero inferiores al mismo equipo utilizado en la formación presencial y esto se debe a las diferentes características del equipo al suponer que el utilizado en la formación presencial tiene mayores requerimientos. También se ha considerado en ambas modalidades el uso de los equipos que permiten el acceso a internet.

En resumen, las emisiones provocadas por estos equipos son muy superiores en la formación presencial debido a la cantidad de equipos utilizados para esta modalidad.

- Metodología GHG Protocol: como en los casos anteriores, se observa que la mayor procedencia de la contribución en las emisiones de CO₂ es debida a los combustibles fósiles como principal aporte energético para los procesos de fabricación y consumo de los equipos utilizados. El menor de los valores para esta fuente se debe al ordenador portátil utilizado en la formación online. Cabe destacar que tan solo hay aportes significativos para las fuentes de tipo biogénico y *uptake* en el caso de los *videowalls* y proyectores.

Resumiendo, esta metodología corrobora los datos obtenidos mediante la metodología anterior, los equipos con mayores emisiones son los *videowalls* y proyectores utilizados en la formación presencial.

► Influencia del transporte en ambas modalidades formativas

El estudio realizado para conocer la incidencia del transporte en la formación revela que es el aspecto más influyente en las emisiones de CO₂. Tiene su principal influencia en la formación presencial debido al uso de los medios de transporte por parte de los alumnos que deben acudir a los centros formativos. La presencia de un alumno, que realiza la formación online, en los centros formativos para realizar en determinados casos actividades presenciales, es anecdótico, por lo que todo el peso de los valores de emisiones corresponde a la formación presencial.

Considerando las dos metodologías del estudio sobre los supuestos de los tres medios de transporte considerados se puede comentar lo siguiente:

- Metodología IPCC GWP a 20 años: de los resultados obtenidos mediante esta metodología se puede concluir que las mayores emisiones de CO₂ corresponden al uso del vehículo propio y a mucha distancia el autobús urbano. El uso de tren de cercanías también provoca emisiones, pero son muy inferiores a las emitidas por los dos anteriores. Esto es debido a que los motores térmicos obtienen directamente la energía por la combustión de recursos fósiles, algo que no sucede con el transporte en cercanías, que obtiene la energía de diferentes fuentes entre las que se encuentran renovables.

- Metodología GHG Protocol: mediante esta metodología se analizan las principales fuentes de origen de emisiones de CO₂ en los diferentes medios de transporte considerados. Como se ha podido comprobar, la principal fuente de emisión es la debida a combustibles fósiles que afecta al vehículo propio y al autobús urbano mientras que el resto de fuentes de emisión aportan cantidades despreciables respecto a las fósiles.

Conclusiones sobre los resultados en conjunto

En las siguientes tablas se agrupan los resultados del estudio realizado para las dos bases o unidades funcionales de cálculo estimadas: recinto y alumno.

EMISIONES CO₂ POR RECINTO:

PROCESO	FORMACIÓN PRESENCIAL		FORMACIÓN ONLINE	
	Porcentaje emisiones CO ₂	Kg. CO ₂	Porcentaje emisiones CO ₂	Kg. CO ₂
Acondicionamiento térmico	87%	0,31731	13%	0,039687
Iluminación	75%	0,621354	25%	0,0932
Ventilación	92%	0,064077	8%	0,0035
Fungibles	98%	3,06E-06	2%	0
Equipos electrónicos	90%	5,781,79	10%	39,7219
Transporte	97%	6,20	3%	0
TOTALES NETOS		5.788,99		39,858
TOTALES PORCENTUALES	99,31 %		0,69 %	

Tabla 4: emisiones de CO₂ absolutas y porcentuales en cada proceso y en total del estudio por recinto.

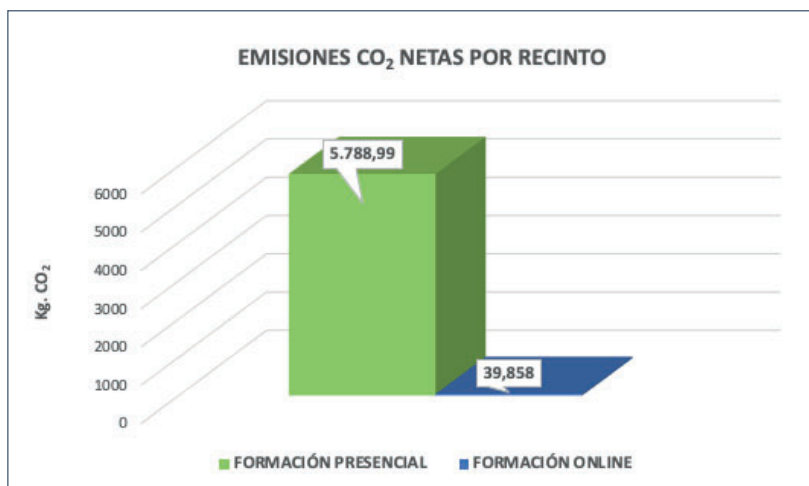


Figura 21: emisiones cuantitativas netas en kg CO₂ totales por recinto como unidad funcional

EMISIONES CO₂ POR ALUMNO:

PROCESO	FORMACIÓN PRESENCIAL		FORMACIÓN ONLINE	
	Porcentaje emisiones CO ₂	Kg. CO ₂	Porcentaje emisiones CO ₂	Kg. CO ₂
Acondicionamiento térmico	87%	0,010577	13%	0,039687
Iluminación	75%	0,0207118	25%	0,0932
Ventilación	92%	0,0021359	8%	0,0035
Fungibles	98%	1.019E-07	2%	0
Equipos electrónicos	90%	192,7264	10%	39,7219
Transporte	97%	6,20	3%	0
TOTALES NETOS		198,95		39,858
TOTALES PORCENTUALES	83,31 %		16,69 %	

Tabla 5: emisiones de CO₂ absolutas y porcentuales en cada proceso y en total del estudio por alumno.

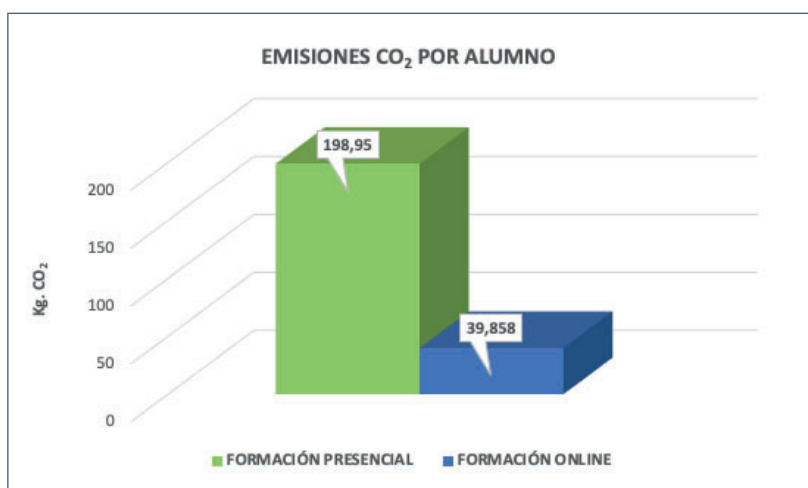


Figura 22: emisiones cuantitativas netas en kg CO₂ totales por alumno como unidad funcional

En este apartado sobre conclusiones más relevantes, es imprescindible recordar las consideraciones de partida con las que se ha desarrollado este estudio. Por una parte, el estudio ha sido realizado, en todo momento, considerando las condiciones más favorables para la formación presencial y más desfavorables para la online.

La incidencia porcentual para cada uno de los casos considerados es:

- Acondicionamiento térmico: para este estudio no se han considerado las emisiones provocadas por la parte correspondiente al aula de las zonas comunes del centro formativo que podría suponer un incremento del 20% en la formación presencial sobre este aspecto.
 - Unidad funcional 1 recinto: en la formación presencial supone un 87% de las emisiones frente al 13% en la formación online.
 - Unidad funcional 1 alumno: en la formación presencial supone un 20% de las emisiones frente al 80% en la formación online.
- Iluminación: en este caso, también habría que incrementar un 20% las emisiones de CO₂ debido a la parte proporcional de la iluminación de zonas comunes del centro formativo.
- Unidad funcional 1 recinto: en la formación presencial supone un 75% de las emisiones frente al 25% respecto a la formación online.
- Unidad funcional 1 alumno: en la formación presencial supone un 15% de las emisiones frente al 85% en la formación online.

- Ventilación: en este caso se ha considerado el aporte de una pequeña cantidad de energía para conseguir la ventilación de una habitación de estudiante, aunque esta consideración no sería precisa porque, de forma general, la ventilación en estos recintos se realiza de forma natural.
 - Unidad funcional 1 recinto: en la formación presencial supone un 92% de las emisiones frente al 8% respecto a la formación online.
 - Unidad funcional 1 alumno: en la formación presencial supone un 35% de las emisiones frente al 65% en la formación online.
 - Fungibles: incluye uso de papel, tóner. En la formación presencial supone un 98% de las emisiones respecto a la formación online.
 - Equipos electrónicos: en la formación presencial supone un 85% de las emisiones respecto a la formación online.
- El uso de papel en la formación provoca, no solo grandes emisiones de CO₂, sino que influye, en gran medida, en otras categorías de impacto orientadas al daño, salud y ecosistemas. El uso de papel reciclado no está normalizado en los centros formativos.
- Dentro de los equipos electrónicos, los *videowalls* y proyectores son los mayores emisores de CO₂. Estos equipos suponen por sí solos un 90% de las emisiones de todos los dispositivos.
- El transporte juega un papel crucial en las emisiones de CO₂. Consultas realizadas en varias universidades públicas concluyen que existe un elevado porcentaje de uso del vehículo propio para el desplazamiento de los estudiantes.

Una ampliación sobre el análisis medioambiental del transporte supondría incluir los impactos generados en la fabricación de medios de transporte, lo que implicaría un incremento en las emisiones de diferentes categorías de impacto.

- La mayor fuente de emisiones de CO₂ es la correspondiente a combustibles fósiles (85%) y a gran distancia las de origen biogénico (10%) y las de origen *uptake* (4%) y el 1% restante sería el aportado por la transformación del terreno.

Así pues, como conclusión más relevante y definitiva se puede inferir que las emisiones de CO₂ producidas en total por alumno, se reducen en la formación online hasta un 79% de las producidas por el mismo alumno en la formación presencial.

Dicho de otra manera, cada estudiante matriculado en formación presencial emite 4 veces más emisiones de CO₂ que si se formara en la modalidad online.

7. Anexos

7.1. Calculadora de huella de carbono de cada estudiante

Este archivo permite conocer el ahorro en kg de CO₂ que se consigue mediante la formación online. Estos cálculos se realizan considerando las emisiones de CO₂ producidas por alumno en aquellos procesos que influyen en el colectivo dividiendo las emisiones calculadas entre el supuesto número de alumnos que integran un aula formativa (30 alumnos).

Para simplificar el cálculo, se han considerado constantes las emisiones de CO₂ calculadas para ambas modalidades formativas excepto el transporte, que es la variable y, en función de la distancia que debe recorrer el alumno para acudir al centro formativo, se obtiene un valor u otro de ahorro en kg de CO₂.

CALCULADORA MEDIOAMBIENTAL:



7.2. Caso práctico

Mediante este anexo se pretende abordar un caso práctico sobre las emisiones de CO₂ correspondientes a un aula de un centro formativo tipo donde se imparte formación presencial en una ciudad de provincia determinada.

7.2.1. Perspectiva del estudio

Para este caso se ha considerado un aula del centro destinado a la formación supuesto, con una superficie de 45 m² y un aforo para 30 alumnos. El centro aporta equipamiento tecnológico y materiales formativos para cada uno de los alumnos distribuidos como sigue:

- ▶ 1 PC compacto por puesto y alumno.
- ▶ 1 PC compacto para el docente.
- ▶ 1 videoprojector.
- ▶ 1 pantalla digital.
- ▶ 1 equipo de audio para el aula.
- ▶ 1 equipo de impresión para diferentes actividades.
- ▶ Material de reprografía.

El análisis de emisiones de CO₂ se realiza atendiendo a los consumos energéticos y procesos productivos de los diferentes equipos tecnológicos involucrados.

7.2.2. Consideraciones

Para la elaboración de este caso se ha supuesto un curso genérico de 30 horas distribuido en 5 horas diarias de tal forma que los consumos irán referidos a este período (5 horas/día).

Estos consumos energéticos son los correspondientes al aula como es el caso del acondicionamiento térmico, la iluminación, la ventilación y los equipos tecnológicos destinados a la formación comentados anteriormente.

Por otro lado, se ha considerado la influencia de los procesos de fabricación de los equipos electrónicos en las emisiones de CO₂ para un período de uso de 5 años que, posteriormente, serían renovados por otros más avanzados tecnológicamente.

También se ha considerado el consumo de papel para la realización de las diferentes actividades formativas. La distribución de actividades es la siguiente:

- ▶ Fotocopias papel estándar documentación: 20 diarias.
- ▶ Apuntes personales diarios de los alumnos: 7 diarios.
- ▶ Casos prácticos, fotocopias por alumno: 10 diarios.
- ▶ Material estándar, manual/fotocopias papel alta: 25 diarios.

Por último y no por ello menos importante, se ha considerado el desplazamiento de los alumnos al centro de formación y para el que utilizan diferentes medios de transporte.

En este sentido y dada la disparidad de medios de transporte disponibles se ha considerado el autobús urbano como objeto de este estudio considerando que las emisiones de CO₂ producidas por este medio representan una media respecto al conjunto de formas de desplazamiento por parte del alumno. En este aspecto se han considerado las emisiones de CO₂ por persona y kilómetro para una distancia recorrida de 20 Km. (10 ida y 10 vuelta).

7.2.3. Cálculo de las emisiones de CO₂

- ▶ **Límite temporal:** 1 día (5 horas de uso de aula)
- ▶ **Límite del centro:** el estudio se limita al uso de los servicios y recursos necesarios para la formación en un aula de 45 m² durante 5 horas diarias. Se admite un 10% de consumo energético extraordinario correspondiente a este consumo en zonas comunes del aula. Por otro lado, se considera que el centro formativo se encuentra ubicado en una zona céntrica de la ciudad.
- ▶ **Límite operativo:** alcance del estudio: 1+2

Identificación de las fuentes de emisiones de CO₂ en la organización:

⇒ Alcance 1:

- Aula: sistema de calefacción, iluminación, ventilación.
- Recursos: recursos tecnológicos y reprográficos destinados a la formación: ordenadores, video-proyectores (audiovisuales), papel, impresoras.

⇒ Alcance 2:

- Aula: consumo energético.
- Transporte.

Considerando lo anterior y realizando los cálculos mediante análisis medioambiental se obtienen las cantidades de CO₂ emitidas. Las emisiones correspondientes a recursos comunes como es el caso de acondicionamiento térmico, iluminación y ventilación se dividirán entre los 30 alumnos que componen el aula.

- ▶ **Datos de la actividad:** una vez identificadas las fuentes de emisión, se recaban los datos de actividad para el período supuesto:

⇒ Aula:

- Consumo calefacción: 2,97 kWh de gas natural.
- Consumo iluminación: 1 kWh a través de comercializadora.
- Consumo ventilación: 0,5 kWh a través de comercializadora.
- Consumo equipos utilizados en el aula: 9,95 kWh a través de comercializadora.

⇒ Centro:

- Impresora láser: se considera el proceso de fabricación (emisiones divididas entre los 5 años de vida hasta su reposición).
- Ordenador compacto: se considera el proceso de fabricación (emisiones divididas entre los 5 años de vida hasta su reposición en 31 unidades).
- Videoprojector con pantalla: se considera el proceso de fabricación (emisiones divididas entre los 5 años de vida hasta su reposición).
- Tóner utilizado para la impresión de la cantidad de papel considerado: 0,021 cartuchos.
- Gasto en papel: 310 gr. (peso correspondiente al papel utilizado por alumno en el período considerado (1 día).

⇒ Transporte:

- Transporte colectivo urbano/interurbano: cálculos de emisiones para 30 alumnos/km.

- **Emisiones de CO₂ producidas:** teniendo en cuenta los supuestos comentados y realizado el análisis medioambiental para conocer las emisiones de CO₂ se obtiene el siguiente cuadro resumen:

		Datos de actividad		
Alcance	Fuente	Cantidad	Unidad	Emisiones CO ₂
ALCANCE 1	Calefacción	2,97	kWh	0,0217
	Iluminación	1	kWh	0,00863
	Ventilación	0,506	kWh	0,00146
	Impresora láser	1	p	0,0759
	PC compacto	31	p	6,6833
	Proyector	1	p	3,0833
	Tóner impresora	0,021	p	0,451
	Consumo papel	310	gr	0,827
ALCANCE 2	Energía equipos electrónicos	10,02	kWh	0,1298
	Transporte	30	persona/Km	66

A tenor de los datos de emisiones aportadas por los diferentes componentes del estudio para este caso práctico, la suma total de las emisiones de CO₂ es **77,28209 Kg CO₂**; lo que **equivale a** las emisiones producidas por la combustión de **26 litros de gasóleo diariamente**.

Como se ha explicado anteriormente, estas emisiones corresponden a un período de 5 horas diarias de uso del aula repartidas por alumno y, respecto a las debidas a la producción de equipos, se ha repartido entre los períodos correspondientes a los 5 años de vida útil de ellos.

- **Plan de mejora:** revisando las emisiones provocadas por la realización de la actividad formativa considerada en este caso, los aspectos a incidir para conseguir la reducción de emisiones podrían ser:
- ⇒ Optimizar el consumo de energía de los equipos de calefacción, iluminación y ventilación mediante un mantenimiento periódico que optimice las condiciones de funcionamiento y rendimiento de ellos.
 - ⇒ Prolongar un 20% la vida útil de los equipos destinados a la formación.
 - ⇒ Reducir el consumo de papel aportando a los alumnos los contenidos formativos en formato electrónico. Esto conllevaría también la reducción del uso de tóner y la energía eléctrica consumida para el proceso.
 - ⇒ Concienciar a los alumnos sobre el beneficio del uso de otros medios de transporte más respetuosos con el medio ambiente para acceder al centro formativo.
 - ⇒ Reducir la asistencia al centro, en la medida de lo posible, pasando a una modalidad híbrida, es decir, combinando la formación presencial y online.

