

## Cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub>e en diferentes sistemas de climatización en un análisis de ciclo de vida

Yeny Márquez y Juan Gallostra, JG Ingenieros  
Diciembre 2023.



# 1. INTRODUCCIÓN

Los edificios son responsables de aproximadamente el 40% del consumo energético mundial y, por lo tanto, del 40% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global (básicamente CO<sub>2</sub>e<sup>1</sup>). Esta es la razón por la que el sector de la construcción es clave en el camino hacia una economía descarbonizada, es decir, sin emisiones de CO<sub>2</sub>e, tal y como se ha propuesto lograr la Unión Europea en el año 2050.

En relación con los edificios, las instalaciones de climatización pueden representar alrededor del 10% de las emisiones de GEI durante su ciclo de vida, además de abarcar entre un 7% y un 10% del presupuesto, dependiendo de la tipología de edificio.

A nivel mundial, existen alrededor de 5 billones de sistemas de refrigeración activos (aire acondicionado y bombas de calor), que contribuyen con alrededor del 8% a las emisiones mundiales de GEI. Según la ONU, se espera que para el 2050 las emisiones relacionadas con estos sistemas aumenten en un 90% en comparación con las emitidas en 2017, lo que equivale a 12 giga toneladas de CO<sub>2</sub>e.

En este contexto, surge la pregunta, ¿es posible reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>e asociadas a los sistemas de climatización en un edificio? ¿Cuál sería el sistema de climatización más eficiente?

JG Ingenieros se ha propuesto abordar estas preguntas estudiando un caso que compara las emisiones de GEI generadas por los sistemas de climatización más utilizados en la actualidad en un edificio tipo con uso de oficinas.

## EMISIONES DE CO<sub>2</sub>e EN UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

Las emisiones de un sistema de climatización pueden clasificarse en emisiones directas y emisiones indirectas, identificadas como alcances 1 y 2 respectivamente según fuentes del Miteco (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico).

---

<sup>1</sup> El equivalente de CO<sub>2</sub> o equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>eq o Carbon Dioxide Equivalent, en inglés), es una medida en toneladas de la huella de carbono. Huella de carbono es el nombre que se da a la totalidad de la emisión de gases de efecto invernadero, que, según el protocolo de Kioto (1997), se refiere a los gases de: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) Trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>), siendo los 3 primeros los principales.

- ALCANCE 1- Directo, tenemos los equipos de climatización y sus componentes, incluyendo también las posibles fugas de gas refrigerante del sistema.
- ALCANCE 2 – Indirecto, tenemos la electricidad con la que opera el sistema durante todo el tiempo que esté en funcionamiento en su vida útil.

El presente estudio incluye los dos alcances mencionados.

## ENFOQUE DE CICLO DE VIDA DEL EDIFICIO

Los edificios tienen una vida útil, que, si bien puede presentar variaciones dependiendo de su tipología, se considera en promedio de unos 60 años<sup>2</sup>. El ciclo de vida es relevante porque los sistemas de instalaciones en un edificio tienen una vida útil menor que el conjunto del edificio. Así es que la vida útil de un sistema de climatización VRV puede estimarse en promedio de unos 15 años, y la de un sistema de Fancoils (aire - agua) en unos 20 a 25 años. Esto implica que se deberán prever recambios de los sistemas de climatización en momentos puntuales de la vida útil del edificio, y así poder asegurar que la operatividad de estos sistemas acompañe todo el ciclo de vida del inmueble.

El mantenimiento es determinante para la extensión de la vida útil y el buen funcionamiento de los sistemas de climatización. Se ha de considerar también que en los momentos de sustitución de equipos se generan emisiones de CO<sub>2</sub>e de alcance indirecto y directo, producto de las obras asociadas a la reposición de los equipos y las posibles fugas de gases refrigerantes durante el proceso.

## LOS GASES REFRIGERANTES EN LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

El gas refrigerante es el elemento más importante de un sistema de climatización en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub>e. En el Gráfico 1 se muestra una comparativa de las emisiones generadas por los refrigerantes más utilizados en las instalaciones de climatización hoy en día para un edificio tipo: R32 y R410A.

El gas refrigerante R-410A triplica las emisiones en tCO<sub>2</sub>e del gas R-32, como se puede ver en el Gráfico 1 y la Imagen 1 adjuntas. En cuanto a la capacidad de refrigeración, el gas R32 es superior en 2,9% en comparación con el gas R410A, y su Ratio de Eficiencia Energética (EER - Energy Efficiency Ratio) también es superior en un 6,4% en condiciones de refrigeración estándar. El gas R32 representa además un menor coste y mayor ahorro ya que utiliza un 30% menos de refrigerante que el R410A.

---

<sup>2</sup> Tanto en España como en la UE, las certificaciones ambientales más conocidas y utilizadas son BREEAM y LEED, las que consideran un promedio de 60 años como vida útil de un edificio. El estándar LEVEL(s) UE desarrollado por la Comisión Europea para el diseño sostenible de edificios, incluye también este periodo de vida útil.

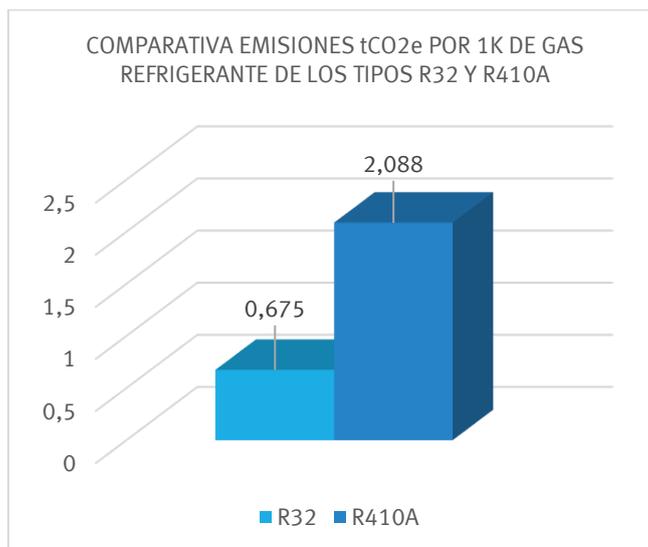
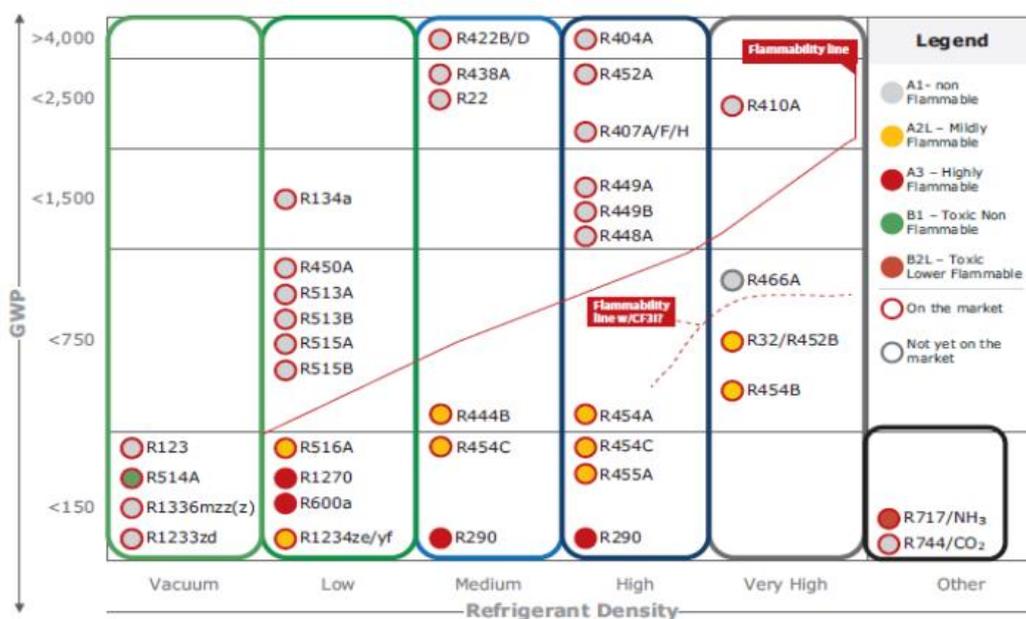


Gráfico 1.



### Energy Efficiency and Heat Pumps Consortium

Copyright © 2020 Center for Environmental Energy Engineering

Imagen 1. Fuente: Energy Efficiency and Heat Pumps Consortium. IEA Annex 54 Update – Low-GWP Refrigerants in Residential AC June 2020.

## 2. EL CASO DE ESTUDIO

### ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub>e DE LAS INSTALACIONES DE CLIMATIZACION PARA UN EDIFICIO DE OFICINAS DE 500 m<sup>2</sup>

Con toda la información previa de base, se ha realizado un análisis comparativo que evalúa las emisiones en tCO<sub>2</sub>e de dos soluciones alternativas de sistemas de climatización aplicadas a un edificio tipo durante todo su ciclo de vida. Por un lado, se analiza un sistema compuesto por planta enfriadora + fan-coils (aire – agua), y por otro, un sistema de climatización VRV considerando las dos variantes de gases refrigerantes más utilizadas (R-32 y R410). Todos los sistemas de climatización están aplicados a un edificio base de 500 m<sup>2</sup> con uso de oficinas.

#### METODOLOGÍA EMPLEADA

Se construyen modelos teóricos digitales del edificio base y de los diferentes sistemas de climatización. Utilizando la herramienta “Oneclick LCA” se define el inventario de materiales y sus emisiones en tCO<sub>2</sub>e asociadas en cada una de las fases del ciclo de vida del edificio.

Se elige el Estándar **LEVEL(s) (UE) (EN15804 +A1/+A2)** como método de cálculo dentro de la herramienta Oneclick LCA, al ser éste el estándar desarrollado por la Comisión Europea para el diseño de edificios sostenibles. Los resultados del estudio se expresan en tCO<sub>2</sub>e como la unidad de medida que permite cuantificar y comparar el aporte de gases GEI de cada sistema a la atmosfera.

#### Paso 1: Elaboración de un modelo base

Se realiza un modelo teórico del inventario de emisiones en tCO<sub>2</sub>e para un edificio tipo de 500m<sup>2</sup> construido con procedimientos y materiales convencionales: bloques de ladrillos, perfiles de acero y hormigón armado para losa y cimentaciones. El alcance del modelo abarca todas las fases del ciclo de vida del edificio, excluyendo inicialmente el sistema de climatización. El propósito de este modelo en su versión sin sistema de climatización consiste en cuantificar las emisiones asociadas únicamente al edificio. Este valor se tomará como punto de referencia para comparar el aumento de las emisiones que resultaría de la incorporación de los diferentes sistemas de climatización que se analizarán en este estudio.

<b>Modelo base:</b>	Edificio sin sistema de climatización.
<b>Fases del ciclo de vida:</b>	Fase A: Materiales y Construcción Fase B: Operación y Recambios Fase C: Fin de Vida

## **Paso 2: Elaboración de modelos de sistemas de climatización VRV y climatización Aire-Agua**

Se realiza el inventario de materiales y emisiones en tCO<sub>2</sub>e correspondientes a los dos sistemas de climatización analizados, tratándolos de manera individual y definiendo los intervalos de sustitución de equipos y componentes conforme a la durabilidad propia de cada sistema. El horizonte de vida útil fijado para el ciclo de vida del edificio es de 60 años. Si bien se ha constatado previamente que el gas refrigerante R32 genera menos emisiones que el R410A, se opta por llevar a cabo ambas simulaciones para obtener la información integral de ambos casos.

Sistema CL VRV:

- Vida útil promedio 15 años
- Cantidad de recambios en fase de operación (incluida instalación inicial): 4 veces en un edificio con una vida útil de 60 años.

Sistema CL aire-agua:

- Vida útil promedio 20 años
- Cantidad de recambios en fase de operación (incluida instalación inicial): 3 veces en un edificio con una vida útil de 60 años.

## **Paso 3: Elaboración de modelos del edificio con sistema de climatización incorporado**

Se generan tres modelos teóricos del Edificio Base + el sistema de climatización analizado:

- Modelo 1: Edificio modelo base + sistema CL VRV R32
- Modelo 2: Edificio modelo base + sistema CL aire- agua (R32/R410A según sea el caso)
- Modelo 3: Edificio modelo base + sistema CL VRV R410. (Éste es una variante del sistema VRV utilizada para medir la diferencia de emisiones con el sistema que utiliza gas R32)

## **Paso 4: Comparativa de modelos y emisiones en tCO<sub>2</sub>e del ciclo de vida del edificio y de los sistemas de climatización. Resultados y conclusiones**

Se comparan los modelos teóricos y se establecen relaciones sobre la cantidad de emisiones en tCO<sub>2</sub>e liberadas a la atmosfera durante todo el ciclo de vida de cada uno de los sistemas. Los resultados se estructuran desde dos enfoques:

- A. Enfoque del ciclo de vida del sistema de climatización sin considerar las emisiones del edificio: Muestra los resultados únicamente de los sistemas de climatización. Es posible visualizar con claridad las diferencias en emisiones de CO<sub>2</sub>e entre un sistema y otro.
- B. Enfoque del ciclo de vida del edificio con sistema de climatización incorporado: Muestra los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub>e del total del edificio incluyendo los sistemas de climatización. Es posible establecer una relación de porcentajes entre el edificio y los sistemas de climatización para conocer el peso que tienen los sistemas dentro del total.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Se comparan los resultados de los modelos 1, 2 y 3 (edificio + sistema de climatización) con los resultados del modelo base (edificio sin sistema de climatización), con el objetivo de establecer relaciones en las emisiones de tCO<sub>2</sub>e en el ciclo de vida.

### Resultados modelo base: Edificio sin considerar instalaciones

En el edificio tipo de 500m<sup>2</sup> utilizado para este caso de estudio, como se muestra en el Gráfico 2, el mayor peso de las emisiones de tCO<sub>2</sub>e se concentran principalmente en la fase A de materiales y construcción y en la fase B de operación.

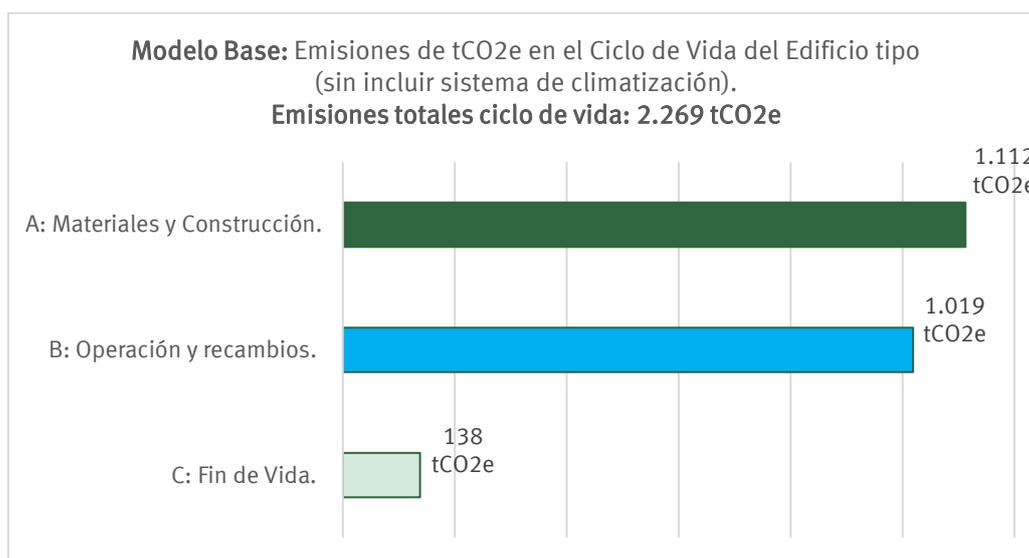


Gráfico 2.

La Fase A de Materiales y Construcción constituye el 49% de las emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, mientras que la Fase B Operacional representa un 45%. Por su parte, la Fase C, que se centra en el final de la vida útil del edificio, concentra únicamente un 6% del total de emisiones en forma de tCO<sub>2</sub>e. Se evidencia que la fase de materiales y construcción considera la mayor parte del peso de las emisiones de CO<sub>2</sub>e.

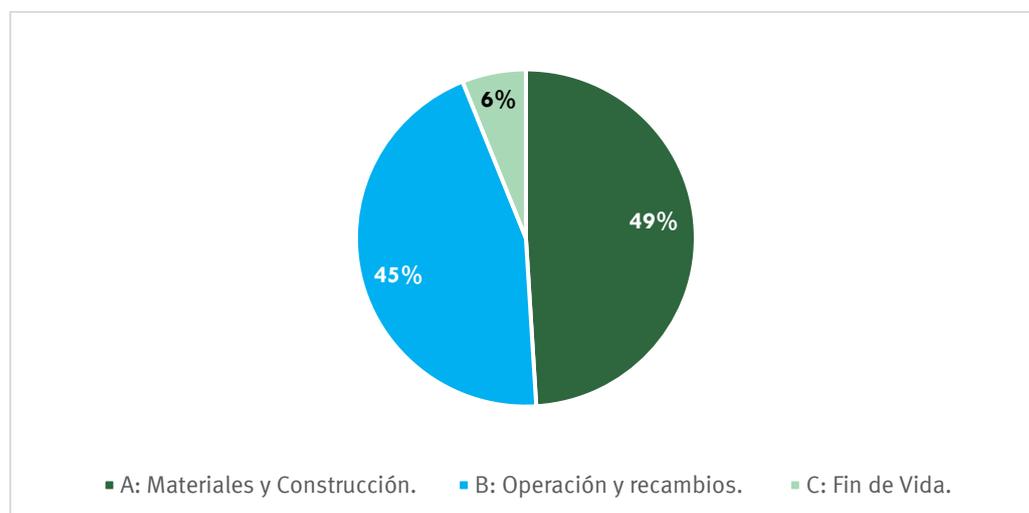


Gráfico 3.

## Resultados Modelo 1: Edificio modelo base + sistema CL VRV R32

El modelo 1 cuantifica las emisiones en tCO<sub>2</sub>e totales de todas las fases del ciclo de vida del edificio incluyendo las emisiones del sistema de climatización, como se muestra en el Gráfico 4.

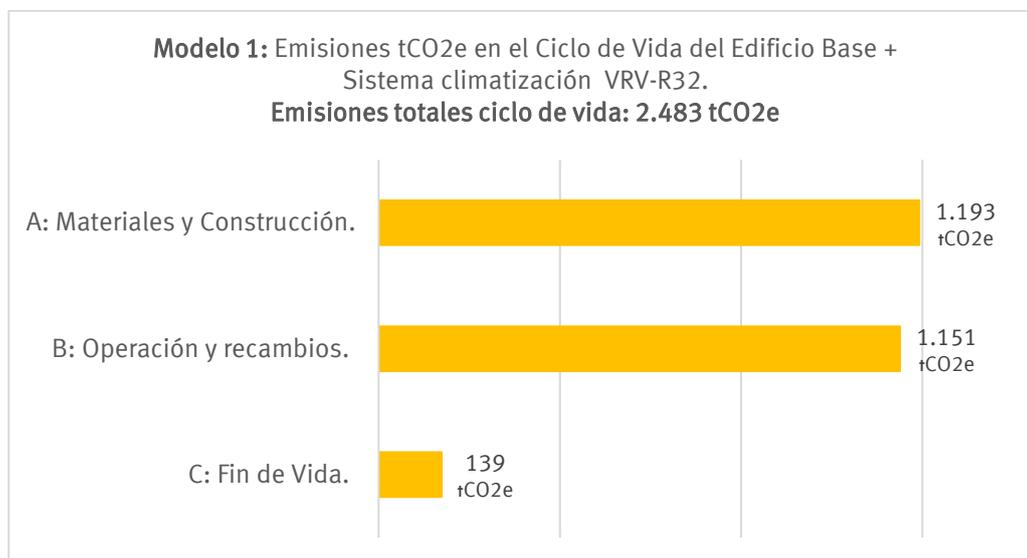


Gráfico 4.

Al contrastar los resultados del Modelo 1 con los del Modelo base, se observa un aumento de aproximadamente un 9% en las emisiones en tCO<sub>2</sub>e al implementar un sistema de climatización VRV-R32. Estos hallazgos quedan reflejados en el Gráfico 5 y el Gráfico 6.

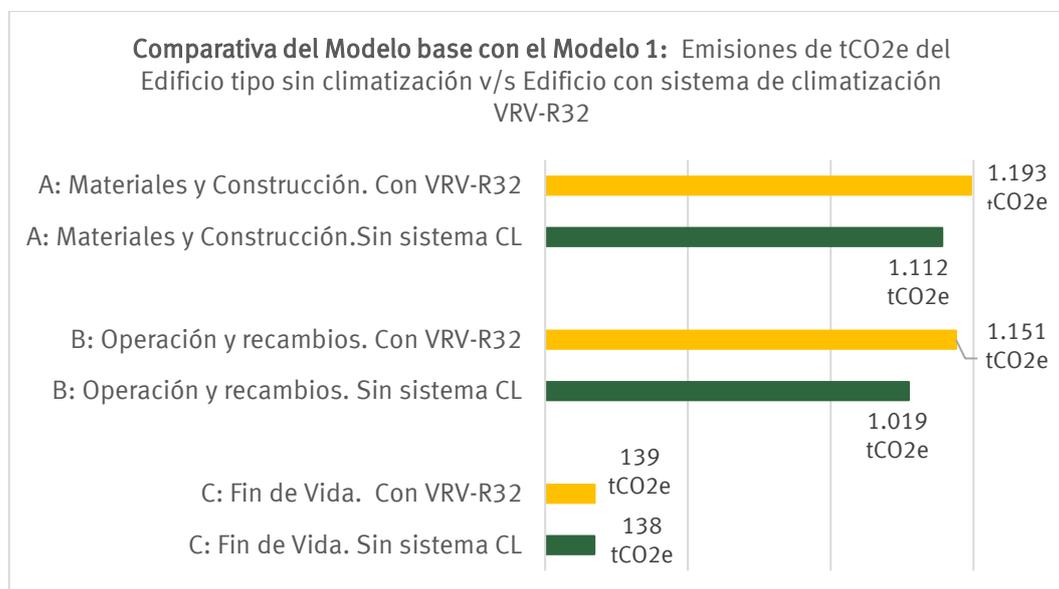


Gráfico 5.

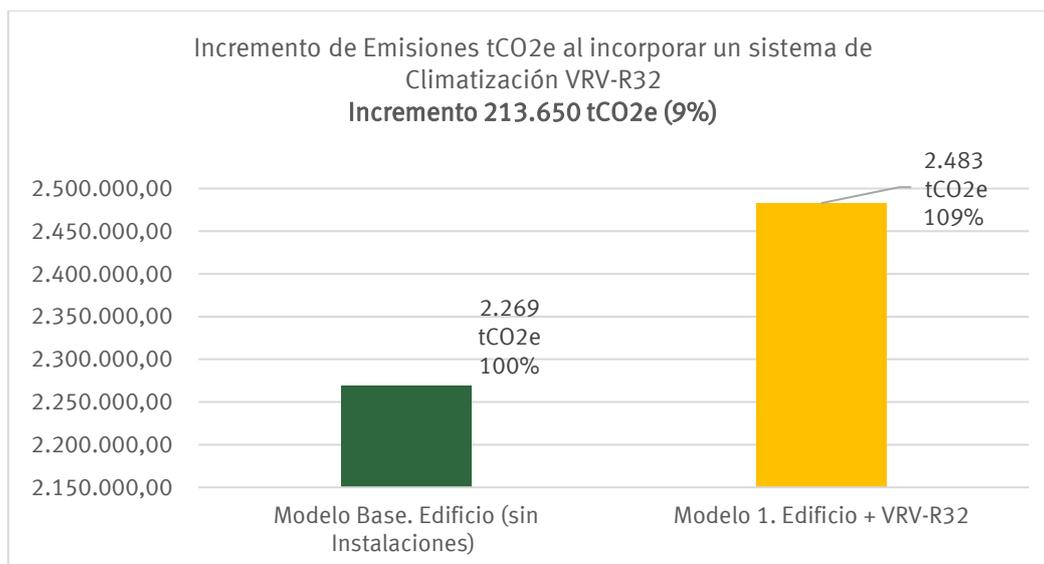


Gráfico 6.

La contribución de las emisiones generadas por un sistema de climatización en un edificio puede experimentar variaciones conforme al diseño y cantidad de espacios que se requiere climatizar. En un enfoque de ciclo de vida, las emisiones se desglosan para cada una de las fases que componen dicho ciclo, pudiendo experimentar aumentos o disminuciones dependiendo de la fase, como se visualiza en los valores presentados en la Tabla 3.

### Desglose de emisiones TCO<sub>2</sub>e por Fase de Ciclo de Vida Edificio Base + Sistema CL VRV-R32

FASES DEL CICLO DE VIDA	VALORES EMISIONES tCO <sub>2</sub> e		
	MODELO BASE Emisiones tCO <sub>2</sub> e por Fases del Ciclo de Vida de Edificio Base sin sistema de climatización.	SISTEMA CLIMATIZACIÓN Emisiones tCO <sub>2</sub> e por Fases del Ciclo de Vida del sistema CL VRV-R32	MODELO 1 Emisiones tCO <sub>2</sub> e por Fases del Ciclo de Vida de Edificio Base + sistema CL VRV-R32
A: Materiales y Construcción.	1.112	81	1.193
B: Operación y recambios.	1.019	132	1.151
C: Fin de Vida.	138	<1	139
Emisiones Totales	2.269	214	2.483
PORCENTAJES			
A: Materiales y Construcción.	93%	7%	100%
<b>B: Operación y recambios.</b>	<b>89%</b>	<b>11%</b>	<b>100%</b>
C: Fin de Vida.	99%	<1%	100%
Emisiones Totales	91%	9%	100%

Tabla 3.

Al efectuar el análisis de la distribución de emisiones en cada una de las fases del ciclo de vida del edificio, se obtiene que la fase B de Operación concentra la mayor cantidad de emisiones provenientes del sistema de climatización en comparación con las otras fases. Para este caso en particular, las emisiones del sistema de climatización VRV-R32 representan el 11% del total en la fase de Operación del

edificio, como se muestra en la Tabla 3 y el Gráfico 7. Al ampliar la perspectiva incluyendo todas las fases del ciclo de vida del edificio, las emisiones del sistema de climatización VRV-R32 representan un 9% del total, como se muestra en el gráfico 8.

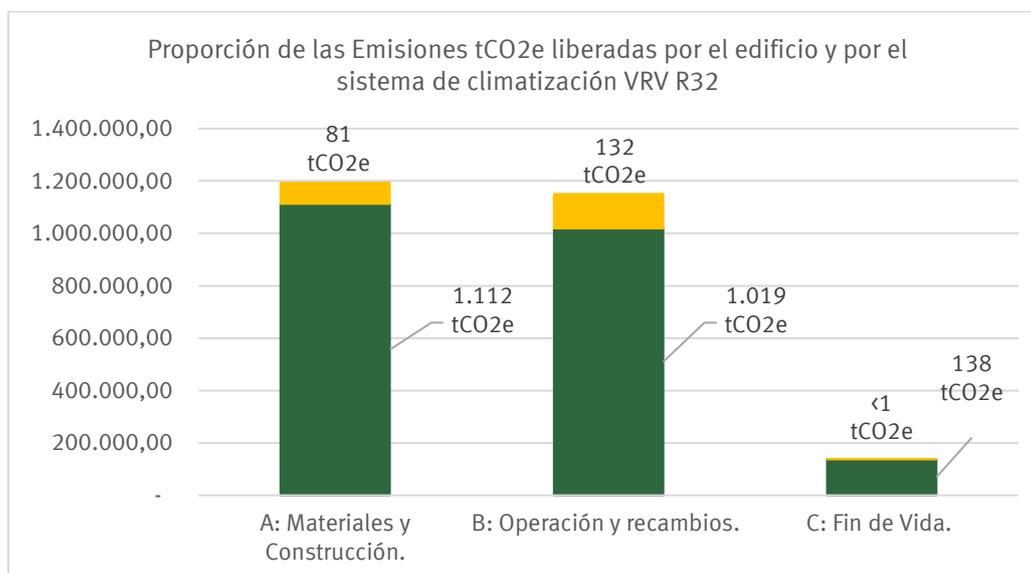


Gráfico 7.



Gráfico 8

### Resultados Modelo 2: Edificio Modelo base + sistema CL Fancoil (aire-agua) con gas R32.

El Modelo 2 cuantifica las emisiones en tCO<sub>2</sub>e totales en todas las fases del ciclo de vida del Edificio, como se muestra en el Gráfico 9. Para este estudio se ha elaborado el modelo 2 con un sistema de fancoils con equipos que utilizan R32. La diferencia en emisiones de CO<sub>2</sub>e entre equipos con gas R410 para este sistema es sólo cuestión de decimales (inferior al 1% como se muestra en la tabla 4), por lo que se considera imperceptible para la unidad de medida que estamos utilizando en este caso.

Emisiones edificio + sistema aire-agua con gas R32		Emisiones edificio + sistema aire-agua con gas R410	
A: Materiales y Construcción.	1.191,43	A: Materiales y Construcción.	1.191,43
B: Operación y recambios.	1.091,09	B: Operación y recambios.	1.091,41
C: Fin de Vida.	138,54	C: Fin de Vida.	138,54
Total Emisiones tCO2e	2.421,06	Total Emisiones tCO2e	2.421,38

Tabla 4.

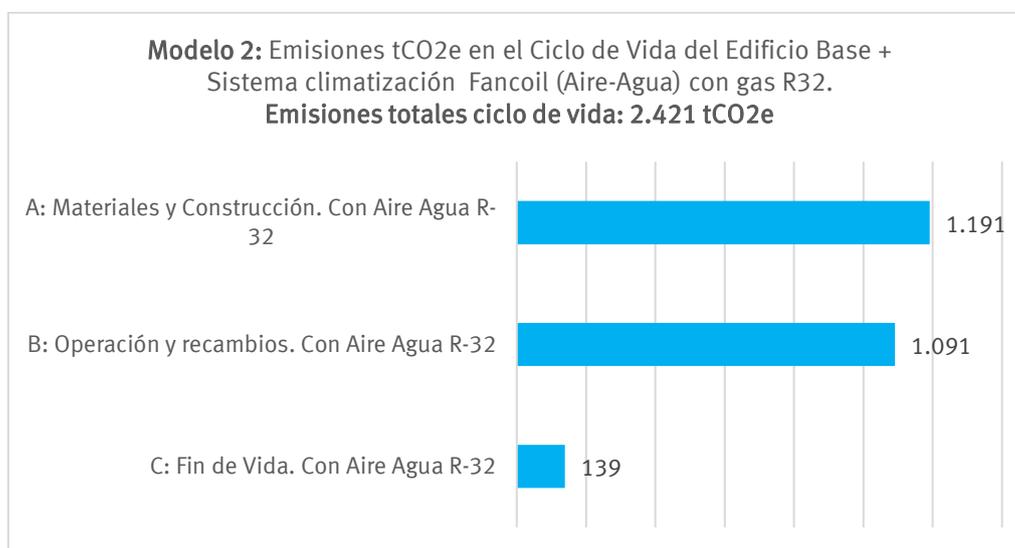


Gráfico 9

Al comparar los resultados del Modelo 2 con los resultados del Modelo base, se obtiene que las emisiones en tCO2e se incrementan alrededor de un 7%, como se muestra en los Gráficos 10 y 11.

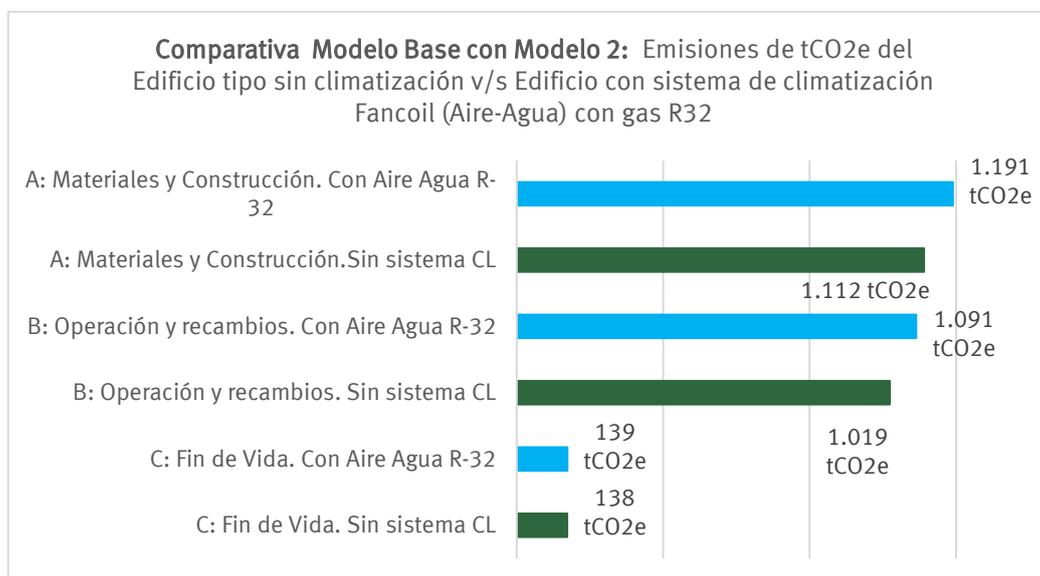


Gráfico 10.

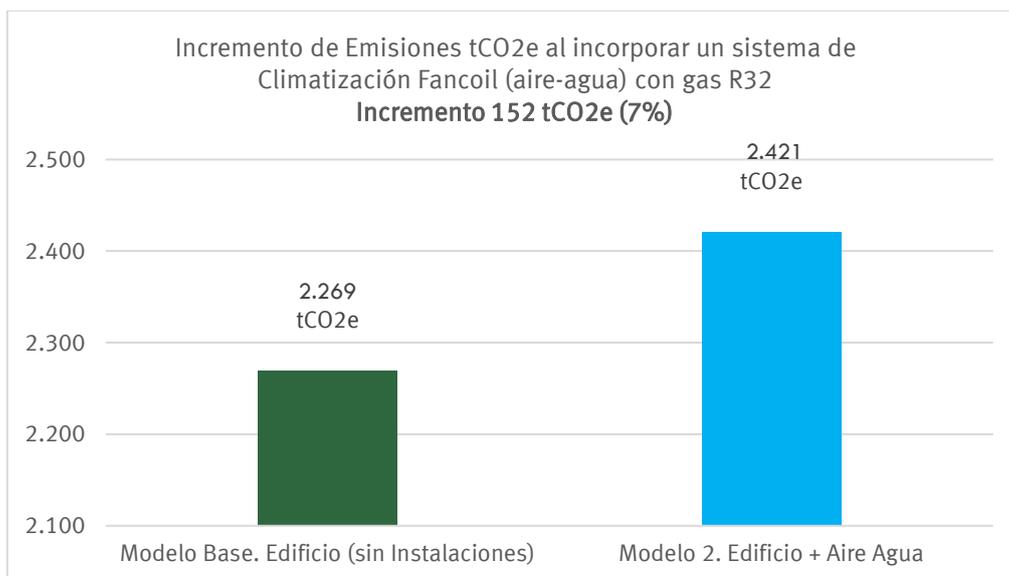


Gráfico 11.

Al analizar el desglose de emisiones por cada una de las fases del ciclo de vida del Modelo 2, se obtiene que tanto en la etapa de materiales y construcción (Fase A) como en la etapa de Operación (Fase B), las emisiones en tCO<sub>2</sub>e convergen hacia un valor cercano al 7%, como se muestra en la Tabla 4.1 y los Gráficos 12 y 13.

### Desglose de emisiones tCO<sub>2</sub>e por Fase de Ciclo de Vida Edificio Base + Sistema CL Fancoil (aire-agua)

VALORES EMISIONES tCO <sub>2</sub> e			
FASES DEL CICLO DE VIDA	MODELO BASE Emisiones tCO <sub>2</sub> e por Fases del Ciclo de Vida de Edificio Base sin sistema de climatización.	SISTEMA CLIMATIZACIÓN Emisiones tCO <sub>2</sub> e por Fases del Ciclo de Vida del sistema CL Fancoil (aire-agua)	MODELO 2 Emisiones tCO <sub>2</sub> e por Fases del Ciclo de Vida de Edificio Base + sistema aire – agua con gas R32
A: Materiales y Construcción.	1.112	79	1.191
B: Operación y recambios.	1.019	72	1.091
C: Fin de Vida.	138	<1	139
Emisiones Totales	2.269	152	2.421
PORCENTAJES			
A: Materiales y Construcción.	93%	7%	100%
B: Operación y recambios.	93%	7%	100%
C: Fin de Vida.	100%	0%	100%
Emisiones Totales	93%	7%	100%

Tabla 4.1

Por otra parte, se destaca que, en este caso, la implementación de un sistema de Fancoils con R32 se reduce en un 2% las emisiones de la fase Operacional del edificio frente a la implementación de un sistema VRV-R32. Al considerar el ciclo de vida completo del edificio, las emisiones del sistema de climatización aire-agua representan un 7% de las emisiones totales del edificio, como se muestra en el gráfico 13.

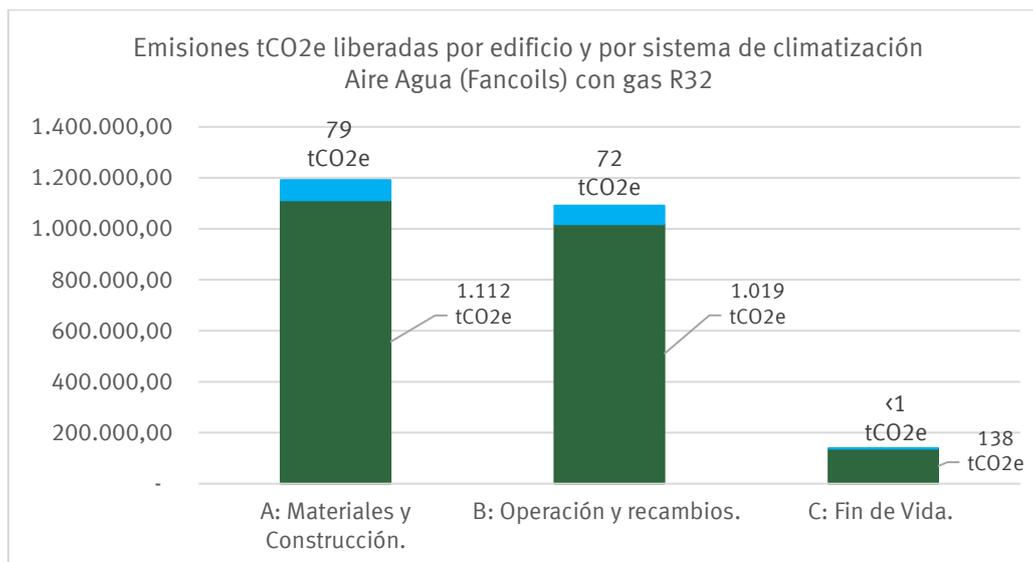


Gráfico 12

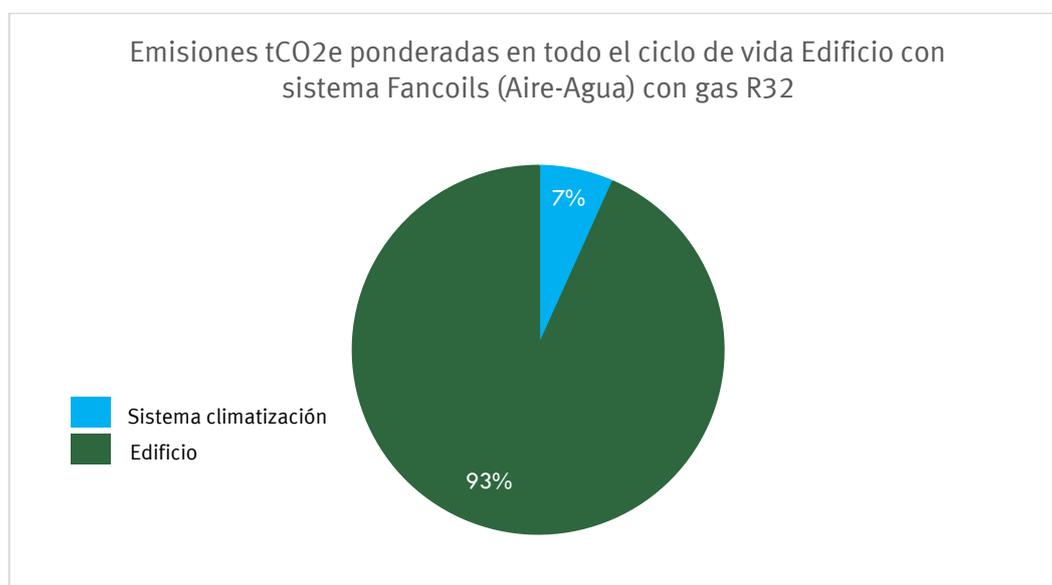


Gráfico 13

### Resultados modelo 3: Edificio modelo base + sistema CL VRV R410 (variante sistema VRV)

El modelo 3 cuantifica las emisiones en tCO2e totales de todas las fases del ciclo de vida del Edificio, como se muestra en el Gráfico 14.

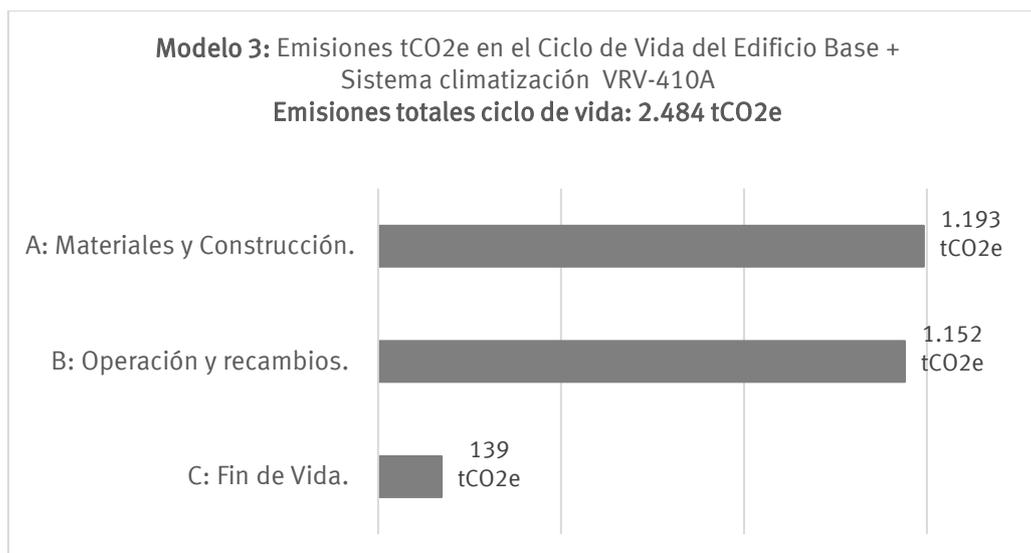


Gráfico 14.

Al comparar los resultados del Modelo 3 con los resultados del modelo base, se obtiene que las emisiones en tCO2e se incrementan alrededor de un 9%, muy similar al modelo 1 (VRV-R32), como se muestra en el gráfico 15.

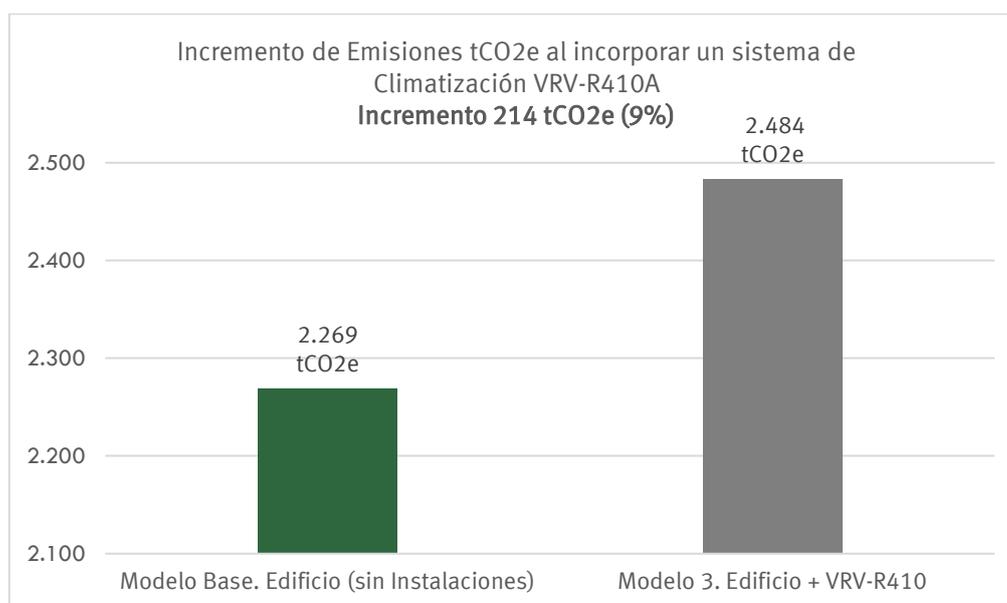


Gráfico 15.

Al comparar este sistema con el modelo 1 (VRV-R32), es posible apreciar que la variación de las emisiones de CO2e entre ambas instalaciones de climatización, es inferior a 1tCO2e (0,8 tCO2e aproximadamente). Esta diferencia de emisiones se evidencia en la fase B del ciclo de vida del edificio, es decir, en la fase de operación, tal y como se aprecia en los gráficos 16 y 17 y la tabla 5.

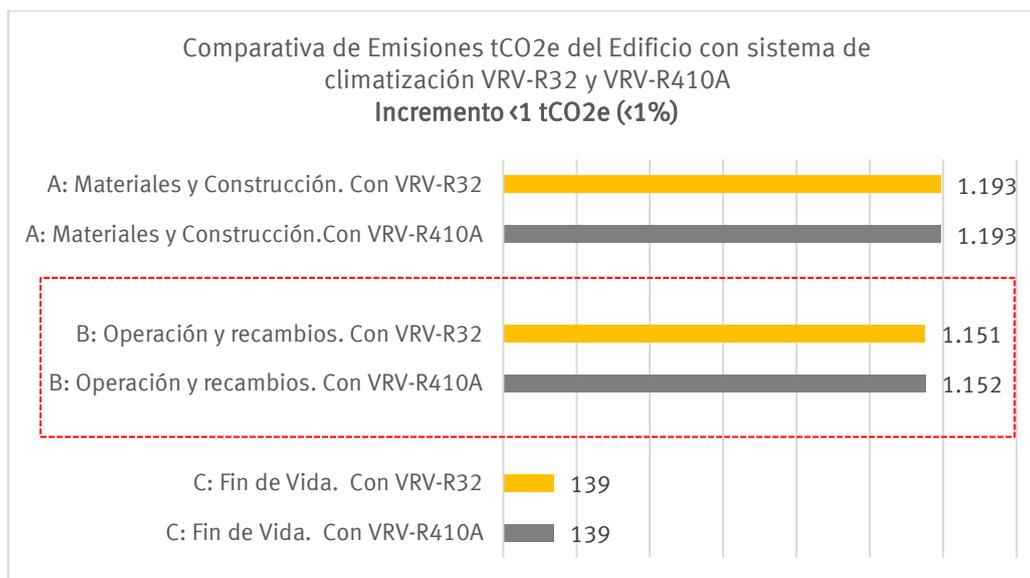


Gráfico 16

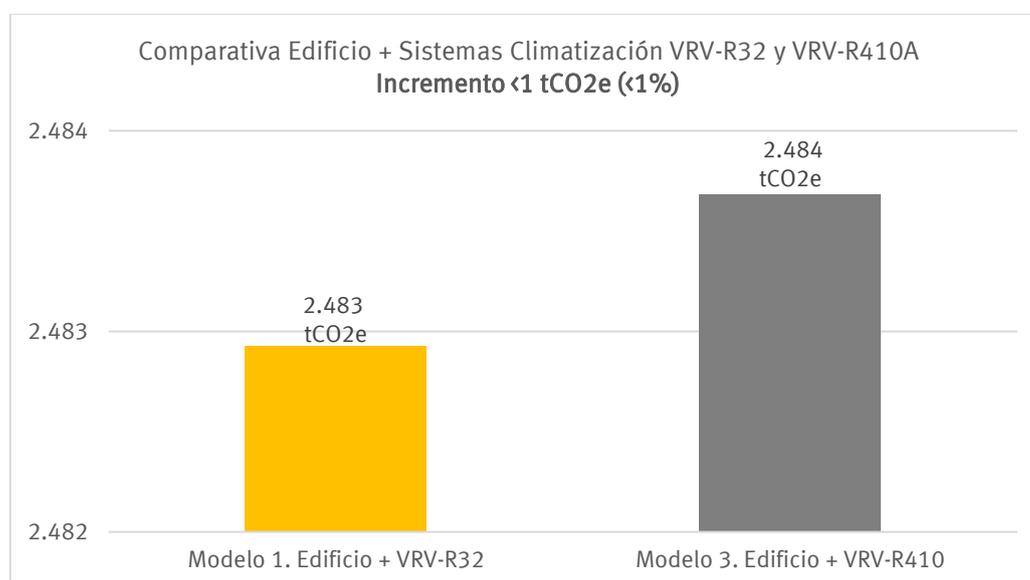


Gráfico 17

FASES DEL CICLO DE VIDA	VALORES EMISIONES tCO <sub>2</sub> e	
	SISTEMA CLIMATIZACIÓN Emisiones tCO <sub>2</sub> e por Fases del Ciclo de Vida del sistema CL VRV-R32	SISTEMA CLIMATIZACIÓN Emisiones tCO <sub>2</sub> e por Fases del Ciclo de Vida del sistema CL VRV- R410A
A: Materiales y Construcción.	81	81
B: Operación y recambios.	132	133
C: Fin de Vida.	<1	<1
Emisiones Totales	214 (213,6)	214 (214,4)
PORCENTAJES		
A: Materiales y Construcción.	7%	7%
<b>B: Operación y recambios.</b>	<b>11%</b>	<b>13%</b>
C: Fin de Vida.	<1%	<1%
Porcentaje de emisiones respecto al total del edificio	9%	9%

Tabla 5

Al analizar el desglose de emisiones de cada una de las fases del ciclo de vida del edificio para las alternativas con VRV-R23 y R410A, se obtiene que con R410A se incrementan en un 2% las emisiones asociadas únicamente al sistema de climatización durante la fase de operación (fase B del ciclo de vida). Al considerar los sistemas dentro del total del edificio, este incremento es imperceptible y ambos sistemas representan un 9% de las emisiones totales del edificio, como se muestra en la Tabla 5.

## CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO

Las emisiones de CO<sub>2</sub>e asociadas al sistema de climatización, respecto al total de emisiones de un edificio en todo su ciclo de vida, adquieren una importancia relativa, representando entre un 7% y un 9% dependiendo el sistema elegido (Fancoil o VRV).

Para apreciar las diferencias entre un sistema y otro, es necesario el análisis exclusivo de los sistemas de instalaciones.

### Enfoque Ciclo de Vida del Sistema de Climatización (sin considerar el Edificio)

El análisis enfocado exclusivamente en los sistemas de climatización, esto es, sin considerar las emisiones provenientes del resto del edificio, permite apreciar las variaciones de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en cada fase del ciclo de vida. Las tablas 6, 7 y 8 muestran los resultados por cada una de las fases del ciclo de vida en casa caso (gráfico 18).

Tabla 6: Emisiones tCO <sub>2</sub> e del ciclo de vida sistema VRV R32	
A: Materiales y Construcción.	81
B: Operación y recambios.	132
C: Fin de Vida.	<1 (0,83)
TOTAL	214

Tabla 7: Emisiones tCO <sub>2</sub> e del ciclo de vida sistema VRV R410	
A: Materiales y Construcción.	81
B: Operación y recambios.	133
C: Fin de Vida.	<1 (0,83)
TOTAL	214

Tabla 8: Emisiones tCO <sub>2</sub> e del ciclo de vida sistema Aire Agua (R32)	
A: Materiales y Construcción.	79
B: Operación y recambios.	72/73
C: Fin de Vida.	<1 (0,58)
TOTAL	152

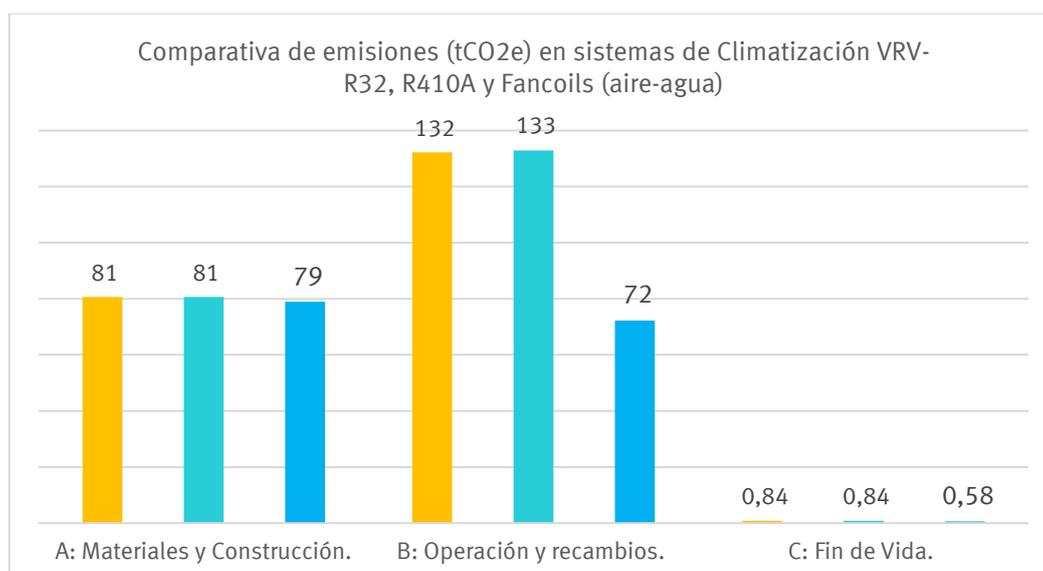


Gráfico 18

Se observa una **reducción aproximada de un 30% en las emisiones de CO<sub>2</sub>e a favor del sistema de Fancoils (aire-agua con cas R32)** como se muestra en el gráfico 19. Este porcentaje corresponde a la comparación con el sistema de climatización VRV-R32 o R410A, pues la diferencia entre los sistemas con variantes VRV-R32 y VRV-R410A es no relevante, alrededor de <1%. **La reducción se aprecia relevante en la fase B de operación.**

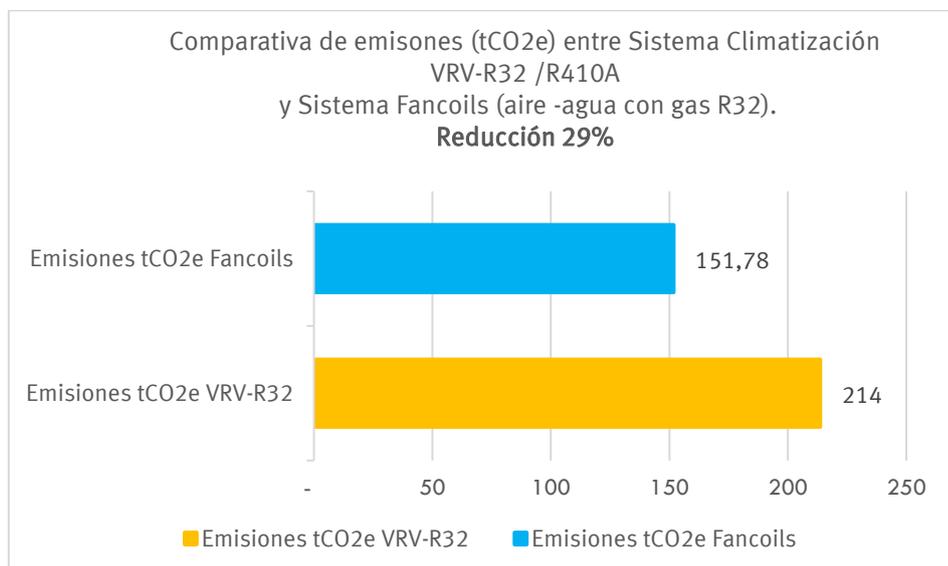


Gráfico 19

Los **sistemas con tecnología VRV**, independientemente del tipo de gas utilizado, **emiten una cantidad superior de tCO<sub>2</sub>e durante su fase operativa** en comparación con un sistema de aire-agua. Esto se deriva del **mayor empleo de gas refrigerante utilizado y la mayor frecuencia en la sustitución de equipos** durante la vida útil del edificio.

## Enfoque Ciclo de vida del Edificio con Sistema de Climatización Incorporado

El análisis de los sistemas de climatización integrados en el edificio muestra que las emisiones de tCO<sub>2</sub>e asociadas a estos sistemas adquieren una importancia relativa, **representando entre un 7% y un 9% de las emisiones totales en el ciclo de vida del edificio**, dependiendo de cual se el sistema elegido (Fancoil o VRV). Las tablas 9, 10 y 11 muestran los resultados por cada una de las fases del ciclo de vida en cada caso (gráfico 20).

Tabla 9: Emisiones TCO <sub>2</sub> e del ciclo de vida	
A: Materiales y Construcción.	1.193.109,11
B: Operación y recambios.	1.151.014,47
C: Fin de Vida.	138.804,35
TOTAL	2.482.927,93

Tabla 10: Emisiones TCO <sub>2</sub> e del ciclo de vida	
A: Materiales y Construcción.	1.193.109,11
B: Operación y recambios.	1.151.769,63
C: Fin de Vida.	138.804,35
TOTAL	2.483.683,09

Tabla 11: Emisiones TCO <sub>2</sub> e del ciclo de vida	
A: Materiales y Construcción.	1.191.428,44
B: Operación y recambios.	1.091.085,20
C: Fin de Vida.	138.544,40
TOTAL	2.421.058,04

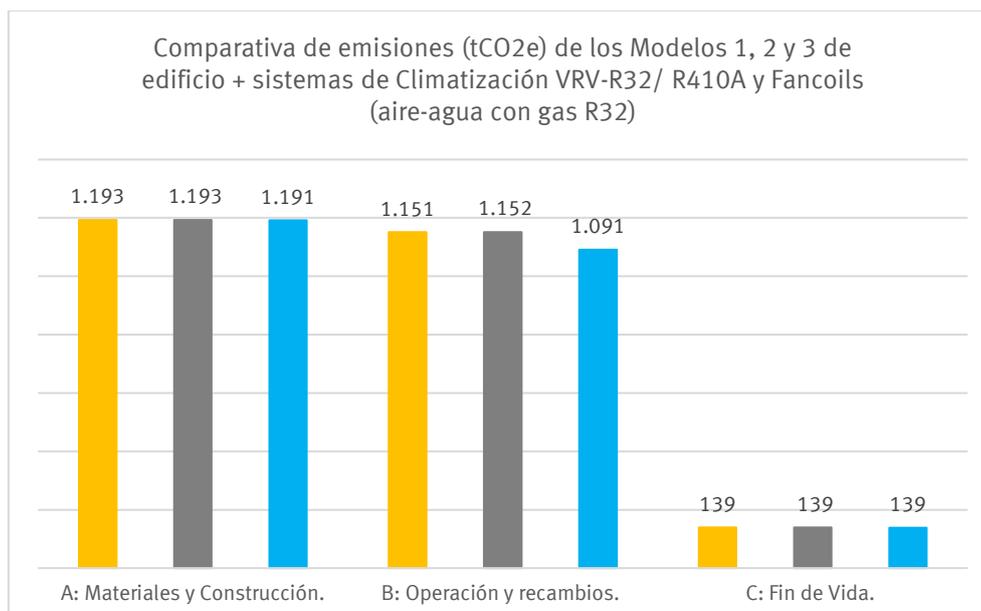


Gráfico 20

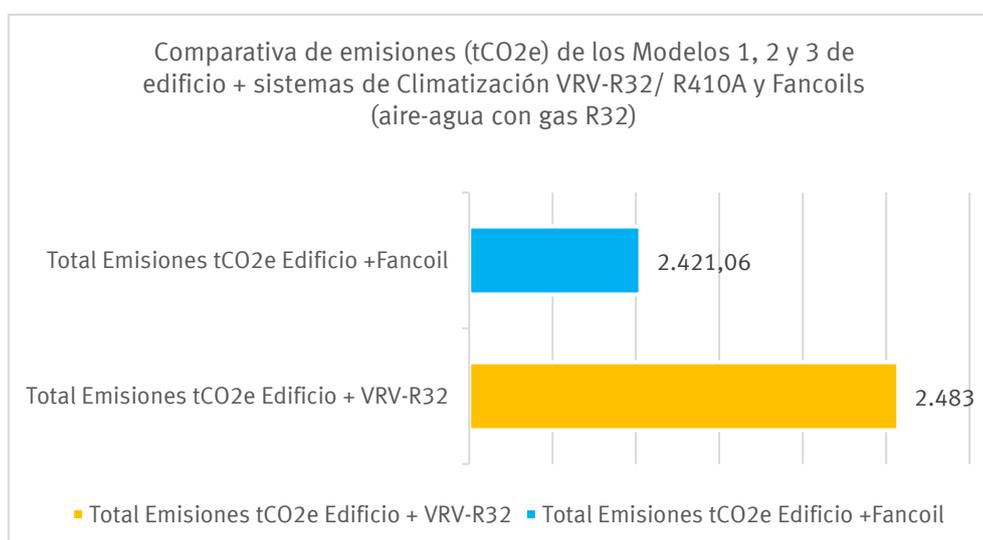


Gráfico 21

La comparación de las emisiones en tCO<sub>2</sub>e del Edificio con Sistema VRV-R32/R410A y el Edificio con Sistema Fancoil (Aire-Agua con gas R32), puso de manifiesto que la implementación de un sistema de Fancoils en el caso de estudio redujo en un 2% de las emisiones en tCO<sub>2</sub>e totales en todo el ciclo de vida del edificio, es decir, una disminución de 62 tCO<sub>2</sub>e en el total.

**Las tCO<sub>2</sub>e incorporadas en el total del edificio son ampliamente superiores a las emisiones provenientes únicamente de las instalaciones de climatización.** Por tanto, para establecer una estrategia de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>e efectiva, **es necesario aplicar estrategias de descarbonización que consideren al edificio completo en todo su ciclo de vida.**

La comparativa con el Modelo base en este caso de estudio muestra que el peso de las emisiones de CO<sub>2</sub>e del edificio, sobre todo en la Fase A (Materiales y Construcción), es determinante, por lo que para lograr la reducción significativa de emisiones y alcanzar los objetivos de descarbonización propuestos por la Unión Europea, es necesario implementar estrategias de descarbonización con un enfoque integral en la construcción y no parcializado o enfocado solamente en la fase de operación.

## 3. RECOMENDACIONES FINALES

### CAMINO A LOGRAR LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>e

#### Fase de construcción

Elegir materiales de construcción con bajo contenido de CO<sub>2</sub>e incorporado en la fase de diseño del edificio. Este tipo de material incorpora en su contenido un porcentaje de materias primas recicladas o material de base biológica. Cada vez son más los materiales producidos en esta línea. Se debe priorizar la elección de materiales informada, es decir, preferir materiales que cuenten con Declaración Ambiental de Producto (DAP) y permitan trazabilidad.

#### Fase de operación

La única forma de lograr la descarbonización de las instalaciones es con el diseño e implementación de sistemas NET ZERO.

Privilegiar la elección de sistemas con baja tasa de recambio o reposición a lo largo de su vida útil, es decir, con una vida útil extendida o duradera. Esta decisión debe tomarse de manera informada, considerando el estudio de descarbonización como base de referencia a la toma de decisiones.

La utilización de energía eléctrica limpia y renovable para abastecer los sistemas de instalaciones es fundamental para evitar la liberación de CO<sub>2</sub>e a la atmosfera.

Prever la producción de energía eléctrica limpia y renovable in situ y en exceso, para compensar las emisiones liberadas en todo su ciclo de vida.

Es esencial considerar todo el ciclo de vida del edificio desde la fase de diseño e implementar estrategias para lograr la máxima reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>e. Los sistemas de instalaciones pueden contribuir a la reducción de emisiones al seleccionar equipos eficientes y gestionando la fase de recambios para evitar fugas de contaminantes a la atmosfera. La gestión del mantenimiento de los sistemas es determinante para preservar la eficiencia de los equipos durante toda su vida útil.

Calibrar eficientemente los equipos de climatización adaptados a la dinámica de funcionamiento del edificio y acorde a las necesidades específicas de cada espacio. Las tecnologías Smart y la gestión de instalaciones (facility management) contribuyen al control y la eficiencia en el uso de los espacios, con la consecuente reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>e durante la fase de operación.

