

## ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL EN CALEFACCIÓN CON CALDERA O BOMBA DE CALOR Y RADIADORES

Francisco Fernández Hernández<sup>1\*</sup>, Antonio Atienza Márquez<sup>1</sup>, José Miguel Peña Suárez<sup>2</sup>, Juan Antonio Bandera Cantalejo<sup>2</sup> y Ana Belén Cuesta de la Mata<sup>2</sup>

1: Grupo de Energética de la Universidad de Málaga (GEUMA). Escuela de Ingenierías.  
C/Arquitecto Peñalosa 6 29071. Málaga.

e-mail: franciscofh@uma.es

2: Airzone-Corporación Empresarial Altra, C/Marie Curie 21 29590 (Málaga)

**Resumen:** La nueva Directiva de Eficiencia Energética en Edificios acuerda que los sistemas de calefacción basados en combustibles fósiles sean eliminados de la Unión Europea en el 2040. En el actual parque de viviendas, un gran porcentaje tiene un nivel de aislamiento bajo y es habitual un sistema de calefacción con radiadores de alta temperatura y producción mediante caldera. Los incentivos económicos gubernamentales cubren la sustitución del sistema de producción, con una apuesta por la bomba de calor, pero no de las unidades terminales, lo que está frenando la esperada rehabilitación de las instalaciones de calefacción en Europa. Por ello, el objetivo de este estudio es analizar la viabilidad técnico-económica de la introducción de la bomba de calor en un abanico de escenarios diferentes (nivel de aislamiento, tipo de clima), evaluando el papel de los sistemas de control.

El estudio presenta el modelado de las estrategias de control multi-zona propuestas por la compañía Airzone para una instalación con bomba de calor y radiadores de alta temperatura, mediante Trnsys18. Los resultados analizan la influencia del tipo de envolvente térmica del edificio, diferentes escenarios de control y la zona climática. Se comparan los resultados del ahorro de energía, confort térmico y viabilidad económica.

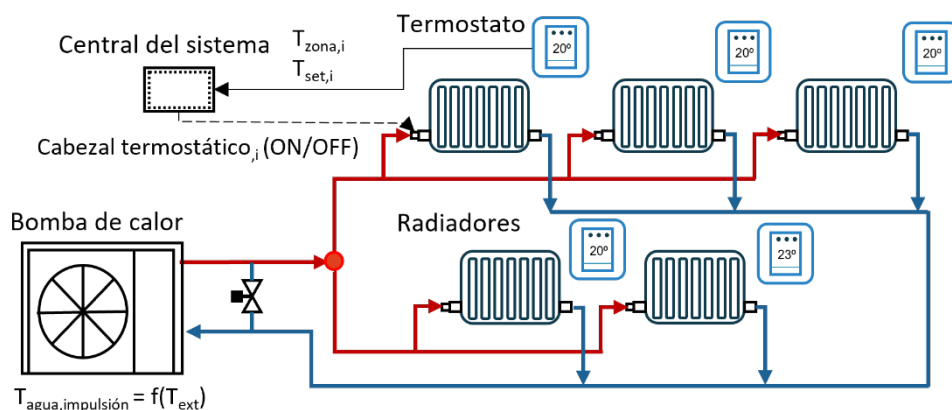


Figura 1. Ejemplo de instalación de calefacción con control zonificado.

**Palabras clave:** Rehabilitación de edificios, caldera, bomba de calor, sistemas de control, radiadores

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción residencial representa aproximadamente el 40% del consumo total de energía y es responsable de más del 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero en los países europeos [1]. Como solución, las medidas de eficiencia energética pueden abarcar desde actuaciones en la envolvente hasta el sistema, pasando por el funcionamiento y el control del edificio. Aunque la mejora del rendimiento de la envolvente del edificio podría suponer un mayor ahorro medio de energía, el coste medio de la inversión es superior al de otras medidas disponibles en el mercado. Teniendo en cuenta que, en el actual parque de viviendas en Europa el nivel de aislamiento es bajo y es habitual un sistema de calefacción basado en radiadores de alta temperatura con producción mediante caldera, existe una potencial mejora de la eficiencia en la climatización de este sector para reducir los consumos de energía.

En este contexto, la comisión RepowerEU [2] de la Unión Europea ha admitido que es urgente una transición rápida hacia otro modelo energético para Europa que diversifique el suministro de gas y que permita eliminar progresivamente la dependencia de los combustibles de este territorio antes de 2030. Una de las medidas es duplicar el ritmo anual de instalaciones de bombas de calor (10 millones instaladas en los próximos cinco años) [3]. Este escenario es motivado en diferentes países con incentivos económicos para la instalación de la bomba de calor en sustitución de la caldera, pero sin sustituir los radiadores, por lo que es necesario analizar la viabilidad técnico-económica de los diferentes posibles escenarios que se presentan (nivel de aislamiento, tipo de clima, etc.), donde el sistema de control puede jugar un papel fundamental. La zonificación térmica es cada vez más habitual ya que permite el control individual de la temperatura en cada una de las zonas del edificio. Para ello, se usan válvulas termostáticas (TRV) por su bajo precio y por el ahorro que suponen. Monetti [4] analiza la influencia de las TRV en un edificio residencial en Turín con ahorros del 2 al 10%. Sin embargo, es importante destacar que la lectura de la sonda de temperatura del cabezal termostático de la TRV se ve influenciada por el calor radiante del propio radiador provocando un mal funcionamiento de la instalación. Este problema puede ser solucionado con la instalación de termostatos y una central de control que regule el funcionamiento de todas las válvulas.

El estudio presenta el modelado de un sistema de control zonificado de la compañía Airzone para una instalación con caldera o bomba de calor y radiadores de alta temperatura, mediante Trnsys18 [5]. Los resultados analizan la influencia del tipo de envolvente térmica del edificio, diferentes escenarios de control y la zona climática. Se comparan los resultados del ahorro de energía, confort térmico y viabilidad económica.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE CLIMATIZACIÓN Y CONTROL

### 2.1. Sistema convencional: caldera de gas y radiadores de alta temperatura (CALD)

Es la instalación más habitual en viviendas antiguas. La caldera de gas convencional suministra agua caliente con una producción fija a 70°C a los radiadores emplazados en cada zona de la vivienda. Se considera que la instalación está equilibrada en la puesta en marcha con válvulas manuales, pero no existe ningún tipo de control de la válvula que regula la entrada del caudal de agua a los radiadores (Figura 1).

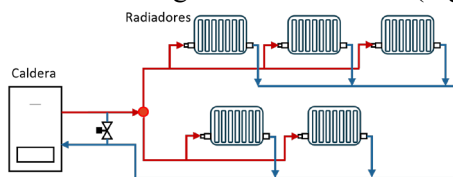


Figura 1. Sistema convencional de caldera de gas y radiadores de alta temperatura.

### 2.2. Sistema renovado sin control: bomba de calor de alta temperatura (BDC)

La medida para la renovación del sistema de climatización que se incentiva a los usuarios es el cambio de caldera por bomba de calor, dejando los radiadores como unidades terminales. En este caso, se utilizan bombas de calor de alta temperatura, donde la temperatura de producción de agua caliente de la bomba de calor se regula para mantener una consigna de 70°C, en función de la curva de calefacción que el equipo incorpora y que modifica la consigna en función de la temperatura exterior y la temperatura interior (figura 2a). El sistema de control de las unidades terminales se denomina sistema no zonificado, ya que se trata de un control ON/OFF en la bomba de circulación de agua en función de la temperatura medida por el termostato situado en una zona de la vivienda (Figura 2b).

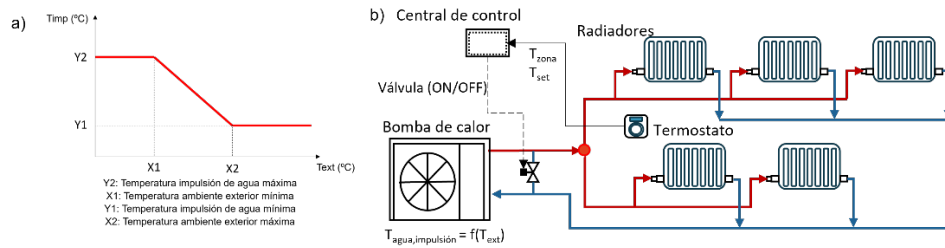


Figura 2. a) Temperatura de impulsión de la bomba de calor en función de la temperatura exterior. b) Sistema de control no zonificado con bomba de calor y radiadores de alta temperatura.

### 2.3. Sistema renovado con control zonificado: bomba de calor de alta temperatura y radiadores

Para el control de las unidades terminales, se dispone de un control en cada una de las válvulas situadas a la entrada de cada radiador para abrir o cerrar el paso del agua al mismo. El hecho de instalar un termostato permite evitar el problema de la sonda de temperatura situada en el cabezal del radiador, cuya lectura de la temperatura del aire de la zona se ve influenciada por la cercanía al radiador, provocando un mal funcionamiento del sistema. De esta forma, se realiza un control independiente de la temperatura en cada zona con el objetivo de asegurar el confort individual y de adaptar el consumo de la bomba de calor a las necesidades térmicas de cada zona (Figura 3). La temperatura de producción de la bomba de calor se impone tal y como se ha descrito en el caso anterior (Figura 2a), para tener en cuenta las condiciones exteriores.

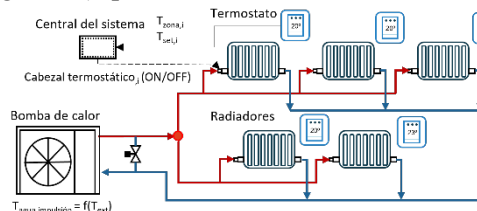


Figura 3. Sistema de control zonificado con bomba de calor y radiadores de alta temperatura.

La válvula regula el paso de agua a cada uno de los radiadores de la instalación. Se han considerado dos tipos de control de la válvula. El control de tipo ON/OFF, donde la apertura está completamente abierta o cerrada en función de la diferencia de temperatura entre la temperatura del aire de la zona ( $T_z$ ) y la temperatura de consigna establecida ( $T_{set}$ ),  $\Delta T$  (figura 4a). Por otro lado, la válvula con control proporcional (TRV) regula la apertura de la válvula que varía linealmente con el  $\Delta T$ , según la figura 4b.

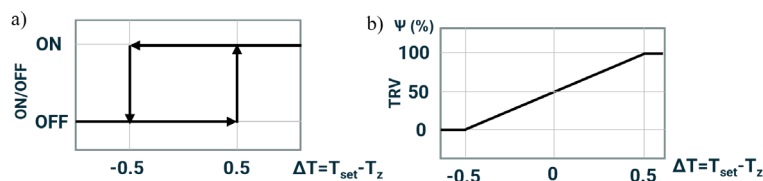


Figura 4. a) Válvula ON/OFF. b) TRV

## 3. CASO DE ESTUDIO

Se trata de una vivienda unifamiliar con una superficie total de 120 m<sup>2</sup> que presenta 5 zonas climatizadas: Salón-Cocina (SAL), Habitación 1 (CH1) en planta baja, y los dormitorios Habitación 2 (CH2), Habitación 3 (CH3) y Habitación 4 (CH4) en planta alta (Figura 5a). Puesto que en un sistema zonificado no se combate la carga térmica de las zonas en las que no hay ocupación, es importante determinar el perfil de uso de cada estancia. (Figura 5b). La consigna de temperatura en las zonas es de 20°C, y 18°C en los periodos donde no hay ocupación. Los equipos de producción seleccionados son una caldera de gas convencional y la línea de modelos Altherma HT (High Temperature) del fabricante Daikin [6] adecuados para su uso con radiadores de alta temperatura.

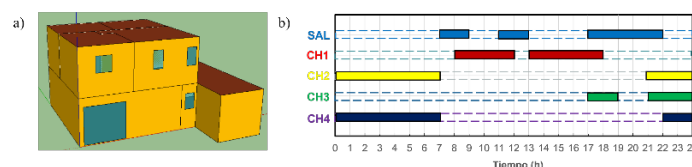


Figura 5. a) Representación en 3D de la vivienda. b) Perfil de ocupación de cada zona

La vivienda se ha simulado para 2 ciudades características europeas: Milán y Múnich, con diferente orden de severidad climática en invierno. Se han considerado 3 casos de aislamiento para la vivienda que representan diferentes escenarios de carga térmica: un aislamiento elevado típico de nuevas edificaciones definido por las normativas actuales (AIS3), un edificio con aislamiento medio (AIS2) y un edificio con aislamiento bajo, típico de las viviendas más antiguas (AIS1). Las propiedades de las envolventes de los edificios se definen a partir del coeficiente global de transferencia de calor de cada elemento constructivo (U), tal y como se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características térmicas de los cerramientos de la vivienda (U en W/m<sup>2</sup>K).

Aislamiento	Pared exterior	Pared interior	Techo	Suelo	Tejado	Ventana
AIS1	1.14	0.88	0.88	0.40	1.10	5.68
AIS2	0.56	0.60	0.60	0.24	0.60	2.90
AIS3	0.18	0.21	1	0.26	0.22	1.30

## 4. RESULTADOS

La vivienda y las diferentes instalaciones de climatización se han modelado en Trnsys18. Los resultados de las simulaciones se muestran a continuación.

### 4.1. Confort térmico

Los resultados de confort se calculan en base a la norma UNE EN ISO 7730: 2006, que establecen los valores recomendados de PPD y PMV para proporcionar bienestar térmico a los usuarios del edificio. Actualmente, las exigencias de confort en edificios son elevadas y se intenta conseguir que la categoría alcanzada sea la B (PPD <10% y PMV entre -0.5 y 0.5), especialmente en edificios eficientes y sostenibles que obtienen certificaciones de tipo BREEAM o LEED [7]. La figura 6 muestra una comparativa del porcentaje de horas en las que se cumplen las condiciones de confort (categoría B), diferenciando la zona maestra donde se encuentra instalado el termostato (Salón), y el resto de las zonas térmicas de la vivienda (Zonas).

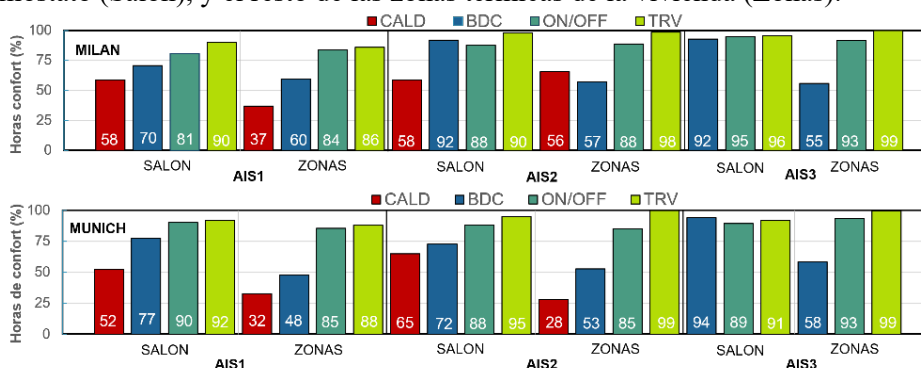


Figura 6. Resultados de confort (CALD: Caldera, BDC: Bomba de calor no zonificada, ON/OFF: Bomba de calor zonificada con válvula ON/OFF; TRV: Bomba de calor zonificada con válvula TRV).

De forma general, se observa cómo, en todos los casos, los porcentajes de confort obtenidos en el Salón son más favorables que en el resto de las zonas de la vivienda. Además, en los casos con bomba de calor donde existe control, se obtienen porcentajes mayores que en el caso de la caldera (CAL). Como ejemplo, se observa que la caldera obtiene porcentajes de confort en torno al 28-65% en el salón, mientras que en los casos de control con bomba de calor los porcentajes aumentan con una media entre el 70-95%.

En relación con el control del confort en el resto de las zonas de la vivienda, cabe destacar cómo el control zonificado (ON/OFF y TRV) obtiene resultados notablemente más favorables en el resto de las zonas con respecto al caso no zonificado (BDC) y caldera (CAL). Esto es debido a la regulación de las válvulas de cada radiador en función de la regulación individual de las temperaturas en cada zona de la vivienda, que asegura el confort térmico. Los porcentajes de confort con el control zonificado van desde el 84-99% para el resto de las zonas, mientras que en el no zonificado el porcentaje medio varía del 48-60% y, para el caso de la caldera, disminuye al 26-56% debido a que no existe ningún tipo de control. En los casos BDC y CALD, sin control del resto de zonas, los resultados muestran valores de PMV superiores al 1.5-2, lo que supone un sobrecalentamiento en la vivienda innecesario lo que llevará a un mayor consumo de energía tal y como se

analiza en el siguiente apartado. Con respecto a la diferencia entre válvula ON/OFF y TRV se observan mejores resultados con la válvula TRV, aunque no son muy significativos.

## 4.2. Consumo de energía

El objetivo es demostrar que la estrategia de control del sistema zonificado es más eficiente desde el punto de vista del consumo de energía por la capacidad de satisfacer de forma efectiva las necesidades térmicas de cada una de las zonas, lo que repercute en un mejor rendimiento del sistema de producción. Se evalúa el consumo de energía de la bomba de calor (Figura 7a) y el ahorro de energía (Figura 7b) de la zonificación con los 2 tipos de válvulas respecto al caso de bomba de calor no zonificado (%ON/OFF-BDC y %TRV-BDC) y el ahorro del uso de la válvula TRV respecto a la ON/OFF (%TRV-ON/OFF).

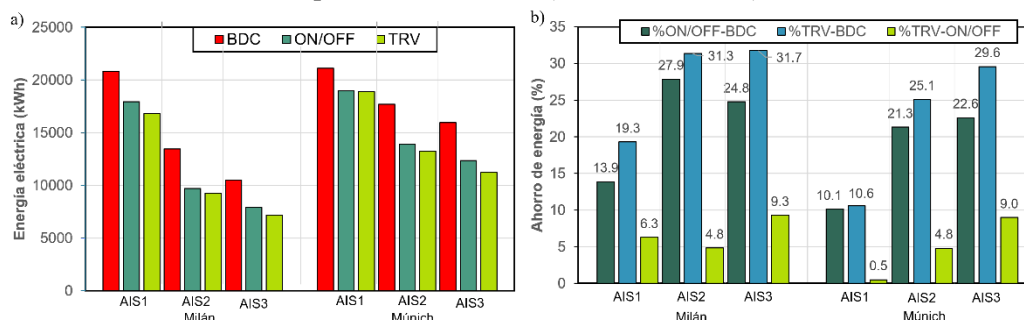


Figura 7. a) Consumo de energía eléctrica b) Ahorro de energía.

En todos los casos comparados se puede observar cómo el consumo de energía eléctrica de una instalación con bomba de calor y el sistema de control zonificado supone un ahorro de energía con respecto al caso no zonificado. Los ahorros van del 10.1 al 27.9% en el caso del control ON/OFF y 10.6 al 31.7% para la TRV. Cabe destacar que el porcentaje de ahorro adicional del caso TRV frente al ON/OFF puede llegar al 9.3%. Por otro lado, se observa cómo en las viviendas con nivel de mayor aislamiento el consumo de energía es menor y el sistema de control consigue mejores porcentajes de ahorro. También se observa que, en Múnich, la ciudad más fría, la bomba de calor trabaja en condiciones más desfavorables, el COP disminuye, y se tiene un mayor consumo de energía y menores ahorros con el sistema de control.

## 4.3. Estudio económico

El análisis económico se basa en la comparación de la inversión inicial de equipo de producción y el sistema de control y de los costes operativos del consumo del sistema de climatización (se obvian los costes de instalación y de mantenimiento) obtenido en la simulación. El análisis se realiza para los casos: CALD-ON/OFF (la sustitución de la caldera por la bomba de calor con control zonificado ON/OFF), BDC-ON/OFF (comparación del caso de bomba de calor con sistema de control no zonificado frente al control zonificado ON/OFF) y BDC-TRV (comparación del sistema no zonificado con el control zonificado y válvula TRV). En la Tabla 4 se muestran los costes de los equipos obtenidos de los catálogos de fabricantes, para para el control ON/OFF o TRV de Airzone.

Tabla 2. Costes de los equipos y sistemas de control

Costes (€)	Convencional	Zonificado
Bomba de calor [6]	11000	11000
Sistema de control	0	1448 [8]
Total	11000	12448

En la Tabla 2 se muestra el coste inicial del sistema zonificado de Airzone que se ha adaptado para el caso de estudio e incluye los cabezales termostáticos, los termostatos, la central de control y el webserver. Los costes de operación se han calculado a partir de los consumos anuales de electricidad de la bomba de calor y el coste del kWh eléctrico, que se ha estimado en 0.28 €/kWh como promedio de los países europeos [9]. Por otro lado, se ha utilizado un valor de 0.0841 €/kWh como valor representativo del coste del gas natural [9]. La tabla 3 muestra los resultados de amortización del sistema de control.

Tabla 3. Resultados de amortización de los sistemas de control

Aislamiento Control/Ciudad	AIS1			AIS2			AIS3	
	CALD-ON/OFF	BDC-ON/OFF	TRV-BDC	CALD-ON/OFF	BDC-OFF	TRV-BDC	BDC-ON/OFF	TRV-BDC
Milán	1.6	2.0	1.5	4.3	1.6	1.4	2.3	1.8
Múnich	1.6	2.8	2.6	5.2	1.6	1.3	1.6	1.3

Como se puede observar, los periodos de amortización de los sistemas de control son muy razonables. Cabe destacar que casi el 90% de los casos estudiados el periodo de amortización es inferior a los 3 años. Por otro lado, es importante resaltar que la influencia del tipo de vivienda, aunque influye, no es determinante, que la inversión es rentable para viviendas con diferentes niveles de aislamiento y que la diferencia en implementar un sistema zonificado con válvula ON/OFF o TRV con respecto al caso no zonificado no es significativa en términos de amortización (inferior a 6 meses).

## 5. CONCLUSIONES

El presente estudio analiza el sistema de control zonificado en radiadores con bomba de calor de alta temperatura como una alternativa adecuada en una rehabilitación del sistema de climatización de una vivienda residencial. Esta solución se compara con dos sistemas diferentes: una caldera de gas natural en una instalación sin control de los radiadores, y una bomba de calor con un sistema no zonificado, controlado por la monitorización de la temperatura en una estancia de la vivienda. Las conclusiones son las siguientes:

1. El sistema de control zonificado controla de forma independiente la temperatura de cada una de las zonas de una vivienda, lo que asegura un porcentaje de horas de confort muy alto en todas las zonas (superiores al 90%) con valores de bienestar térmico muy favorable a los usuarios del edificio. Este sistema se compara con respecto al caso de un sistema convencional donde existe un solo termostato en una zona maestra para regular el funcionamiento del sistema y que provoca sobrecalentamiento en el resto de las zonas, con porcentajes que disminuyen al 48-60% en el caso de la bomba de calor y del 26-56% en el caso de la caldera.
2. Se evalúa la influencia del sistema de control zonificado para el caso de la bomba de calor en términos de consumo de energía eléctrica. Los ahorros van del 10.1 al 27.9% en el caso del control ON/OFF y 10.6 al 31.7% para la TRV.
3. Aunque inicialmente hay que realizar una inversión inicial en el sistema de control, se observa a través del estudio económico que los tiempos de amortización están entre 1.3 y 5.2 años, periodos muy razonables, considerados económicamente viables. Cabe destacar que casi el 90% de los casos estudiados el periodo de amortización es inferior a los 3 años.

## REFERENCIAS

- [1] Commission E. In focus: “Energy efficiency in buildings”. 2020. Report February 17, 2020. Brussels.
- [2] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy. Strasbourg 8.03.2022.
- [3] IEA (2022), The Future of Heat Pumps, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>, License: CC BY 4.0
- [4] Monetti V, Fabrizio E, Filippi M. Impact of low investment strategies for space heating control: application of thermostatic radiators valves to an old residential building. *Energ Build* 2015;95:202–10. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.001>.
- [5] TRNSYS <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>. (Acceso 14.04.24).
- [6] Catálogo Daikin Altherma 3 High Temperature.
- [7] BRE, BREEAM offices 2008 assessor manual, BREEAM. Watford: BRE Global Ltd.; 2010.
- [8] Catálogo profesional Airzone 2023. [airzonecontrol.com/ib/es/soporte/descargas/documentacion/comercial/](http://airzonecontrol.com/ib/es/soporte/descargas/documentacion/comercial/)
- [9] Eurostats Statistics. <https://ec.europa.eu/eurostat/>