

---

# **DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN: DTIE**

---

**DTIE 1.07  
VENTILACION EN EDIFICIOS DE VIVIENDAS**

**Autores:**

**F. Javier Rey,**

Catedrático de la Escuela de Ingenierías industriales

**Julio F. San José,**

Catedrático de la Escuela de Ingenierías industriales

**Ana Tejero,**

Habilitada titular de la Escuela de Ingenierías industriales

**Javier María Rey Hernández,**

Profesor contratado de Ingeniería en la Universidad Europea Miguel de Cervantes

**Paula Esquivias,**

Arquitecta e investigadora postdoctoral en la Escuela de Ingenierías industriales

**Revisor:**

**Manuel Gallardo Salazar**

**Conoce al Comité Técnico de Atecyr:**

**Presidente:** Pedro G. Vicente Quiles

**Presidente de honor:** José Manuel Pinazo Ojer

**Vicepresidente:** Ricardo García San José

**Secretario técnico:** Arcadio García Lastra

**Miembros honoríficos:**

Rafael Úrculo Aramburu, Ramón Velázquez Vila, José María Cano Marcos, Antonio Vegas Casado, Enrique Torrella Alcaraz y Juan José Quixano Burgos

**Vocales:**

Francisco Javier Rey Martínez

José Manuel Cejudo López

José Fernández Seara

Juan Travesí Cabetas

Víctor Manuel Soto Francés

Miguel Ángel Navas Martín

José Luis Barrientos Moreno

Adrián Gomila Vinent

Paulino Pastor Pérez

Manuel Sánchez Marín Flores

Justo García Sanz-Calcedo

Ignacio Leiva Pozo

Gorka Goiri Celaya

Nicolás Bermejo Presa

Vidal Díaz Martínez

Angel Barragán Cervera

Alberto Jiménez Martín

César Martín Gómez

Paloma Virseda Chamorro

Ramón Cabello López

Pedro Romero Jiménez

Pedro Coya Alonso

Ramón Puente Varela

José Antonio Fernández Benítez

Manuel Gallardo Salazar

Manuel Ruiz de Adana Santiago

Emilio José Sarabia Escrivá

Simón Aledo Vives

Francisco Javier Aguilar Valero

**Depósito Legal:** M-9171-2021

**ISBN:** 978-84-95010-74-2

©ATECYR

**Edita:** ATECYR

**Agastia 112 A - 28043 Madrid**

**Producción y Realización:** ATECYR

*Photo by CHUTTERSNAPE on Unsplash.*

*Queda prohibida la total o parcial reproducción del contenido de este documento salvo expresa autorización de Atecyr.*

## PRESENTACIÓN DTIE

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), entidad sin ánimo de lucro fundada en 1974, agrupa a más de 1.500 ingenieros y profesionales relacionados con los sectores de calefacción, refrigeración, ventilación y aire acondicionado.

ATECYR cumple al pie de la letra con su carácter asociativo y transforma, fielmente, los fines que figuran en sus estatutos en objetivos a cumplir y en forma de trabajar.

Los Estatutos que rigen nuestra Asociación definen como fines de ATECYR:

- El estudio, en todas sus vertientes y manifestaciones, de la problemática, la ordenación, la reglamentación, y la protección y desarrollo de las técnicas de climatización, en su más amplio sentido, comprendiendo en tales, y sin carácter limitativo, la calefacción refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire en cualquiera de sus manifestaciones técnicas, así como en todo lo relacionado con el frío industrial, fontanería, uso racional de la energía, gestión de la energía, eficiencia energética, energías renovables, y, en particular la energía solar, térmica, eólica y biomasa, cogeneración, ingeniería del medio ambiente, y de cualesquiera otras actividades directa o indirectamente relacionadas con las mismas.
- La creación, recopilación y divulgación de información científica relacionada con estas tecnologías en España respecto a estas técnicas, cuyo objeto es el entorno ambiental del hombre, la sostenibilidad y el desarrollo de la misma, así como el fomento y desarrollo del interés por el diseño y equipamiento de este entorno, a fin de mejor cumplir su función social.
- La investigación, realización de estudios y análisis relativos a esta temática, así como la recomendación de planes de actuación y Transferencia de Tecnología.
- La organización de Cursos, Seminarios, Simposios, Conferencias y, en general, de cuantas actividades vayan encaminadas a la formación y divulgación, en su más amplio sentido, en el ámbito material en el que la Asociación desarrolla su actividad, desde la propia Asociación o en colaboración con Entidades u Organismos públicos o privados nacionales o extranjeros de similares o complementarios campos de actuación.
- La certificación y acreditación de la capacitación de profesionales y de personal, en el ámbito de actuación material en el que la Asociación desarrolla su actividad.
- Potenciar la colaboración y realizar acuerdos con cualesquiera otras entidades de cualquier naturaleza, públicas o privadas, nacionales o extranjeras, en el desarrollo del ámbito material en el que la Asociación desarrolla su actividad.
- Colaborar con las Administraciones Central, Autonómicas o Locales así como con cualquier otro organismo o entidad pública o privada, asesorándolas o prestándolas la asistencia necesaria para la confección, desarrollo y/o interpretación de la normativa y reglamentación relativa al ámbito material en el que la Asociación desarrolla su actividad.

Para la consecución de sus fines, ATECYR lleva a cabo una intensa actividad de colaboración con entes públicos y privados, mediante la participación en grupos de trabajo para la elaboración de distintas normas con el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, como miembro de pleno derecho en la Comisión Asesora de Certificación Energética y del RITE, así como asesor técnico en casos de tanta relevancia como la contabilización de consumos o las Auditorías Energéticas. Colaboramos con el

Ministerio de Industria, Comercio y Turismo en la Subdirección General de Calidad y Seguridad Industrial en el desarrollo de la modificación del Reglamento de Seguridad de Instalaciones Frigoríficas. Así mismo participamos con un gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones provinciales con que contamos.

En el campo normativo es digno de resaltar la adjudicación del concurso restringido convocado por el IDAE para la revisión del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), en diciembre de 2003 y que se aprobó y publicó el 20 de julio de 2007, Real Decreto 1027/2007 y la secretaría y coordinación de las 26 asociaciones representativas del sector, para proponer al ministerio la modificación de este reglamento que se ha publicado en el año 2013, RD 238/2013. Actualmente estamos colaborando en el proceso de actualización del RITE.

Destacamos el desarrollo de 3 cursos propios, que se imparten de manera semipresencial, desarrollados por el Comité Técnico de ATECYR y que cuentan con los más prestigiosos profesores del sector que son:

- El Curso de Experto en Climatización de 300 horas.
- El Curso de Experto en Refrigeración de 168 horas.
- El Curso de Experto en Rehabilitación Energética de Edificios de 160 horas.

Y la impartición de 5 convocatorias del Curso de Experto Auditor y Gestor Energético en la Edificación y la Industria de 256 horas.

Además, ATECYR ha organizado junto con la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid el Congreso de tecnologías de la refrigeración, Tecnofrío'16, Tecnofrío'17, Tecnofrío'18, Tecnofrío'19 y Tecnofrío'20 y junto con AFEC y FEDECAI el I y el II Congreso de Calidad de Aire Interior.

ATECYR es miembro y participa activamente en REHVA, Federación Europea de Asociaciones de Profesionales del Sector de Instalaciones Mecánicas y en FAIAR, Federación de Asociaciones Iberoamericanas de Aire Acondicionado y Refrigeración. Además ha participado junto con REHVA y otras asociaciones en el Proyecto Europeo PROF TRAC y actualmente está participando en el Proyecto Europeo U-CERT.

En sus más de cuarenta y siete años de vida, ATECYR no sólo ha participado en gran número de proyectos, sino que se ha convertido en un referente para todos los técnicos del sector de climatización y refrigeración.

La actividad de la asociación descansa en dos pilares fundamentales: Las Agrupaciones como grandes generadoras de nuestra actividad y como instrumentos que nos permitan la cercanía y el servicio al socio, y el Comité Técnico, compuesto por un grupo de expertos muy respetados en nuestro sector, que, de alguna manera, han marcado las tendencias y la forma de hacer las cosas en los últimos años y que se constituye como el gran dinamizador de toda nuestra actividad.

El Comité Técnico de ATECYR viene trabajando desde hace años, en la elaboración de una valiosa documentación de divulgación científico-técnica sobre temas relacionados con el sector de climatización y refrigeración. Entre esta documentación, se encuentran traducciones de libros y artículos considerados de interés y bibliografía propia.

La colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación (DTIE) nace como una respuesta a la necesidad detectada de agrupar y ordenar la información técnica sobre una serie de temas específicos mediante la elaboración de unas guías donde se reúna toda la información que el técnico precisa sobre el tema en cuestión para desarrollar su labor.

Esta colección de documentos consta de guías prácticas sobre temas de interés dentro del ámbito de la climatización y refrigeración, dirigidas a técnicos que trabajan o que tengan inquietudes en este ámbito y se han convertido en la

documentación imprescindible en los cursos de formación de las Instalaciones en la Edificación.

Desde 2016 Atecyr ofrece gratuitamente a los técnicos del sector [www.calculaconatecyr.com](http://www.calculaconatecyr.com) que es el portal a través del cual se distribuyen gratuitamente para todos los técnicos del sector 8 programas de cálculo y dimensionamiento de las instalaciones térmicas. ATECYR, a través de la Fundación ATECYR ha adquirido la licencia de distribución del Software desarrollado y adaptado a las necesidades del mercado y normativa vigentes por un grupo de profesores de la UPV del Grupo de Ingeniería Térmica del Departamento de Termodinámica Aplicada. La última actualización de los programa es de abril de 2019.

Se trata de ofrecer al técnico una herramienta útil para la realización de su trabajo, sin condicionar su creatividad, incluyendo la última tecnología y tendencias, dejando a su interpretación las cuestiones normativas.

ATECYR es autor junto al IVE de CERMA que es Documento Reconocido para la certificación de eficiencia energética tanto de edificios nuevos como existentes, según lo dispuesto en el Real Decreto 235/2013, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios y que a principios de 2021 se ha actualizado incorporando la adaptación del programa CERMA para verificar las secciones DB HE 0, 1 y 4 del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación de 2019.

En 2020 y 2021 se ha incrementado el servicio de formación continua gratuita a los socios, impartiendo 26 cursos.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) establece una serie de exigencias mínimas que aseguran que los edificios logran la seguridad y el bienestar de las personas, denominados requisitos básicos de seguridad y habitabilidad. En edificios habitados la composición del aire atmosférico se ve afectada por la actividad metabólica de sus ocupantes y sus actividades, con la ventilación se consigue desplazar y diluir los contaminantes del aire interior de un recinto mediante la introducción de aire nuevo, procedente generalmente del exterior, y la extracción del aire viciado con el objetivo de reponer el contenido de oxígeno, y ayudar en el control higrotérmico del aire interior.

Bajo el objetivo de la descarbonización del parque inmobiliario, es necesario incorporar técnicas, dispositivos y sistemas que permitan incrementar la eficiencia energética del sistema de ventilación, ya sea mediante una adecuada regulación y control, como recuperación del aire de extracción o el aprovechamiento de fuentes de energías renovables.

En el DTIE orientado fundamentalmente a la ventilación con medios mecánicos, se analizan los factores contaminantes en las viviendas y su impacto en la salud, los sistemas y tipos de ventilación en viviendas y de control de la calidad de aire interior, la normativa aplicable, el diseño y cálculo de instalaciones de ventilación en viviendas, sistemas de medida y ahorro de energía, y sistemas pasivos y renovables en la ventilación de edificios de viviendas de consumo de energía casi nulo. Incluye el desarrollo de casos prácticos.

Sólo queda agradecer su aportación al patrocinador de este DTIE, **Vaillant**, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto y presentar este nuevo DTIE 1.07 Ventilación en edificios de viviendas.

Rafael Vázquez Martí  
Presidente de ATECYR

## Relación de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación

### **SERIE 1: Instalaciones sanitarias**

- \*1.01 Preparación de agua caliente para usos sanitarios
- \*1.02 Calentamiento de agua de piscinas
- 1.03 Cálculo de redes de distribución de agua sanitaria
- 1.04 Cálculo de redes de evacuación y ventilación
- \*1.05 Prevención de la corrosión interior de las instalaciones de agua
- \*1.06 Instalación de climatización en hospitales
- \* 1.07 Ventilación en edificios de viviendas

### **SERIE 2: Condiciones de diseño**

- \*2.01 Calidad del ambiente térmico
- \*2.02 Calidad de aire interior
- \*2.03 Acústica en instalaciones de aire
- \*2.04 Acústica en instalaciones de climatización: Casos prácticos
- \*2.05 Calidad del aire exterior: mapa ODAs de las principales capitales de provincias de España
- \*2.06 Sistemas de filtración y purificación del aire
- \*2.07 Las instalaciones de climatización, SARS CoV 2 y calidad de aire

### **SERIE 3: Psicrometría**

- \*3.01 Psicrometría

### **SERIE 4: Tuberías**

- \*4.01 Cálculo de las pérdidas de presión y criterios de diseño. (Edición revisada)
- \*4.02 Circuitos hidráulicos y selección de bombas

### **SERIE 5: Conductos**

- \*5.01 Cálculo de conductos

### **SERIE 6: Combustible**

- \*6.01 Combustión
- \*6.02 Diseño y cálculo de chimeneas
- 6.03 Redes de distribución de gas, diseño y cálculo

### **SERIE 7: Cálculo de carga, demanda y consumo**

- \*7.01 Cálculo de carga y demanda térmica
- 7.02 Cálculo de consumo de energía: simulación de sistema
- \*7.03 Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER VyP
- \*7.04 Entrada de datos al programa CALENER GT
- \*7.05 Cálculo de cargas térmicas
- \*7.06 Procedimientos simplificados para la certificación de viviendas de nueva construcción: Cerma, Ce2, CES
- \*7.07 Metodología BIM en la climatización

### **SERIE 8: Fuentes de energía de libre disposición**

- \*8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización

- \*8.02 Bomba de calor para calefacción
- \*8.03 Instalaciones solares térmicas para producción de Agua Caliente Sanitaria
- \*8.04 Energía solar térmica. Casos prácticos
- \*8.05 Bombas de calor para producción de ACS
- \*8.06 Instalaciones de climatización y ACS con bombas de calor aire/agua individuales en bloques de viviendas

### **SERIE 9: Sistemas de acondicionamientos de aire**

- \*9.01 Tipos de sistemas
- \*9.02 Relación entre el edificio y el sistema de climatización
- \*9.03 Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales
- \*9.04 Sistema de suelo radiante
- \*9.05 Sistemas de climatización
- \*9.06 Selección de equipos secundarios según el sistema
- \*9.07 Cálculo y selección de equipos primarios
- \*9.08 Bombas de calor a gas
- \*9.09 Sistemas de climatización radiante

### **SERIE 10: Sistemas de calefacción**

- 10.01 Tipos de sistemas
- 10.02 Aplicaciones para edificios residenciales
- \*10.03 Calderas individuales
- \*10.04 Piscinas cubiertas climatizadas con aire exterior como único medio deshidratante
- \*10.05 Principios básicos de las calderas de condensación
- \*10.06 Piscinas cubiertas. Sistemas de climatización deshumectación y ahorro de energía mediante bombas de calor

### **SERIE 11: Control**

- 11.01 Esquemas de control
- \*11.02 Regulación y control de instalaciones de climatización
- \*11.03 Contaje de energía de acuerdo al RITE en sistemas de agua para calefacción y ACS

### **SERIE 12: Aislamiento térmico**

- \*12.01 Cálculo del aislamiento térmico de conducciones y equipos
- \*12.02 Aplicación de aislamientos en la edificación y las instalaciones. Casos prácticos

### **SERIE 13: Difusión de aire**

- \*DTIE 13.01 Generalidades sobre Difusión de Aire

### **SERIE 14: Acumulación de energía térmica**

### **SERIE 15: Salas de máquinas**

- \*15.01 Salas de calderas

### **SERIE 16: Puesta en marcha, recepción y mantenimiento**

- \*16.01 Criterios de calidad en el montaje de las instalaciones de climatización y ACS
- \*16.02 Etiquetado y ecodiseño

**SERIE 17: Varios**

- \*17.01 Análisis económico de sistemas eficientes. Estudio de casos
- \*17.02 Responsabilidad civil del ingeniero
- \*17.03 Contenidos de proyecto y memoria técnica
- \*17.04 Instrumentación y medición

**SERIE 18: Rehabilitación Energética y Reforma**

- \*18.01 Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios
- 18.02 Rehabilitación energética de las Instalaciones térmicas de los edificios
- \*18.03 Integración de energías renovables en la rehabilitación energética de los edificios
- \*18.04 Auditorías energéticas. Casos prácticos.

**SERIE 19: Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo**

- \*19.01 Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo. Parte teórica
- \*19.02 Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo. Casos prácticos

\*Editadas

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	11
2.	CALIDAD DEL AIRE INTERIOR (CAI).....	12
2.1.	CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y DEL CLIMA INTERIOR.....	12
2.2.	FACTORES CONTAMINANTES EN VIVIENDAS.....	13
2.2.1.	Contaminantes procedentes del ambiente exterior.....	14
2.2.2.	Contaminantes generados por la ocupación y la actividad.....	17
2.2.3.	Contaminantes generados en el cocinado de alimentos.....	17
2.2.4.	Productos de mantenimiento, limpieza y ambientadores.....	18
2.2.5.	Tapicerías, acabados de mobiliario, pinturas etc.....	18
2.2.6.	Sistemas de climatización en viviendas.....	19
2.3.	IMPACTO EN LA SALUD DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN VIVIENDAS.....	20
2.3.1.	Monóxido de carbono.....	20
2.3.2.	Dióxido de carbono.....	21
2.3.3.	Dióxido de nitrógeno.....	21
2.3.4.	Partículas.....	21
2.3.5.	Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).....	22
2.3.6.	Formaldehído.....	22
2.3.7.	Humo de tabaco.....	22
2.3.8.	Fibras vítreas artificiales.....	23
2.3.9.	Contaminantes procedentes del cocinado de alimentos.....	23
2.3.10.	Productos de limpieza y mantenimiento, ambientadores y pesticidas.....	24
2.4.	CONTAMINANTES BIOLÓGICOS EN VIVIENDAS.....	24
2.4.1.	Virus.....	25
2.4.2.	Bacterias.....	25
2.4.3.	Hongos y esporas.....	25
2.4.4.	Ácaros.....	26
2.4.5.	Otros alérgenos.....	26
2.5.	RADÓN. CTE DB HS EN VIVIENDAS.....	27
3.	LA VENTILACIÓN EN VIVIENDAS.....	29
3.1.	PARÁMETROS Y VARIABLES DE LA VENTILACIÓN EN VIVIENDAS.....	29
3.1.1.	Contaminantes aéreos interiores.....	29
3.1.2.	Clasificación de los espacios interiores.....	31
3.1.3.	Caudal de Ventilación.....	33
3.1.4.	Eficacia de la ventilación.....	34
3.2.	SISTEMAS Y TIPOS DE VENTILACIÓN EN VIVIENDAS.....	36
3.2.1.	Ventilación mecánica.....	38
3.2.2.	Ventilación natural.....	43
3.2.3.	Ventilación híbrida.....	49
3.3.	SISTEMAS DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR, CAI, A TRAVÉS DE LA VENTILACIÓN EN VIVIENDAS.....	51
3.4.	NORMATIVA DE APLICACIÓN.....	54
4.	DISEÑO Y CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DE VENTILACIÓN EN VIVIENDAS.....	59
4.1.	DEMANDA DE VENTILACIÓN.....	59
4.2.	COMPONENTES Y DIMENSIONADO DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN DE LA VIVIENDA.....	67
4.2.1.	Componentes de los sistemas de ventilación.....	67
4.2.2.	Ventilación de las viviendas.....	75
4.2.3.	Ventilación de los almacenes de residuos.....	79
4.2.4.	Ventilación de trasteros y sus zonas comunes.....	79
4.2.5.	Ventilación de aparcamientos y garajes.....	80
5.	VENTILACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA.....	83
5.1.	RECUPERADORES DE CALOR.....	83

5.2.	CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS DE VIVIENDA.....	91
6.	SISTEMAS DE MEDIDA DE LA VENTILACIÓN.....	97
6.1.	EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	97
6.1.1.	Equipos de medición de flujo.....	97
6.1.2.	Equipos de medición de contaminantes (CO <sub>2</sub> ).....	99
6.1.3.	Equipos de medición de temperatura.....	101
6.1.4.	Equipos de medición de humedad.....	101
6.1.5.	Equipos de medición de presión.....	102
6.2.	MONITORIZACIÓN Y CONTROL CON SISTEMAS BMS.....	104
6.3.	LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN VIVIENDAS EN LAS CERTIFICACIONES MEDIOAMBIENTALES.....	105
6.3.1.	BREEAM.....	105
6.3.2.	LEED.....	107
6.3.3.	VERDE.....	108
6.3.4.	PassivHaus.....	109
6.3.5.	WELL.....	110
7.	SISTEMAS PASIVOS Y RENOVABLES EN LA VENTILACIÓN DE EDIFICIOS DE VIVIENDA DE CONSUMO CASI NULO.....	113
7.1.	ENFRIAMIENTO GRATUITO POR VENTILACIÓN.....	113
7.2.	INTERCAMBIADORES DE CALOR TIERRA-AIRE.....	116
7.3.	COLECTORES SOLARES TÉRMICOS DE AIRE.....	121
8.	EJEMPLO DE UNA INSTALACIÓN DE VENTILACIÓN EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS.....	125
8.1.	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE VENTILACIÓN DE LA VIVIENDA... 125	125
8.1.1.	Locales húmedos independientes.....	125
8.1.2.	Vivienda con la cocina integrada en el salón.....	126
8.2.	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y DIMENSIONADO.....	126
8.2.1.	Caudal de ventilación de los trasteros.....	127
8.2.2.	Ventilación general.....	127
8.2.3.	Ventilación complementaria.....	130
8.2.4.	Ventilación adicional específica.....	130
9.	Bibliografía.....	131

# 1 INTRODUCCIÓN

Normalmente, el aire se compone de 21% de oxígeno y 78% de nitrógeno en volumen y el otro 1% otros gases (dióxido de carbono, argón, neón y helio). El aire atmosférico contiene además un porcentaje variable de vapor de agua. En edificios habitados la composición del aire atmosférico se ve afectada por la actividad metabólica de sus ocupantes y sus actividades, incorporando dióxido de carbono y vapor de agua procedente del aire exhalado de los pulmones, partículas de polvo, humos, bacterias, olores y componentes orgánicos volátiles (COVs). Para evitar que el aire tenga una deficiencia de oxígeno y afecte a la salubridad debe contener un volumen de oxígeno mayor de 19.5%; además el contenido de CO<sub>2</sub> debe ser inferior al 0.25% además de controlar la concentración otros contaminantes presentes en la vivienda.

La ventilación es la acción de desplazar y diluir los contaminantes del aire interior de un recinto mediante la introducción de aire nuevo, procedente generalmente del exterior, y la extracción del aire viciado con el objetivo de reponer el contenido de oxígeno, evacuar los contaminantes generados por la actividad desarrollada en el espacio, ayudar en el control higrotérmico del aire interior mediante, por ejemplo, la evacuación del exceso de humedad relativa, y evitar la transferencia del aire viciado a zonas o espacios no deseados [1] [2]. La ventilación precisa una apertura para la entrada del aire y otra para su extracción, así como una diferencia de presión.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) establece una serie de exigencias mínimas que aseguran que los edificios logran la seguridad y el bienestar de las personas, denominados requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

Para que un recinto de un edificio sea habitable se le exige que cumpla con las determinaciones del requisito básico de habitabilidad, por lo que debe cumplir unas condiciones de salubridad, acústicas y térmicas, que se definen en los Documentos Básicos (DB) de Salubridad (DB-HS), de Protección frente al Ruido (DB-HR) y de Ahorro de Energía (DB-HE) respectivamente.

La exigencia básica de Calidad del Aire Interior (HS 3) establece que, en los edificios de viviendas, el interior de las mismas, los almacenes de residuos, los trasteros, los aparcamientos y los garajes deben de disponer de medios que permitan ventilarlos adecuadamente considerando las mayores exigencias de estanqueidad de los edificios, eliminando los contaminantes de forma que se aporte un caudal suficiente de aire exterior y se garantice la extracción y expulsión del aire viciado por los contaminantes.

El sistema de ventilación, además, puede afectar al aislamiento acústico a ruido aéreo a través de las aberturas de admisión de aire y a la transmisión de ruido ya sea mediante las aberturas de paso o mediante el ruido generado por los ventiladores, conductos y rejillas, por lo que se deben considerar ciertos aspectos constructivos y de funcionamiento de estos elementos.

El caudal de aire introducido influye en las condiciones higrotérmicas del aire interior, por sus condiciones de humedad, temperatura y velocidad, afectando a la demanda energética y al consumo de energía a través de los ventiladores del sistema de ventilación. Así mismo, la extracción de aire viciado acondicionado supone la pérdida de la energía empleada en el tratamiento higrotérmico del aire exterior por lo que, bajo el objetivo de la descarbonización del parque inmobiliario, es necesario incorporar técnicas, dispositivos y sistemas que permitan incrementar la eficiencia energética del sistema de ventilación, ya sea mediante una adecuada regulación y control, como recuperación del aire de extracción o el aprovechamiento de fuentes de energías renovables.

## 2 CALIDAD DEL AIRE INTERIOR (CAI)

Las personas pasamos la mayor parte de nuestro tiempo en espacios interiores, especialmente la población urbana. Se estima que en las ciudades entre el 80 y el 90% del tiempo se destina a actividades en interior [3] [4]. Esto resulta más llamativo aún si se considera que en 2018 el 55% de la población mundial residía en áreas urbanas. En Europa, este porcentaje asciende al 74,5% y se espera aumente hasta el 84% para el año 2050 [5].

Adicionalmente, el tiempo que pasamos en nuestras viviendas es mayor que en otros espacios interiores como oficinas o colegios. Sin embargo, la mayor parte de los estudios del aire interior se centran en los espacios de trabajo. A menudo los criterios de diseño y las normativas sobre la calidad del aire en espacios residenciales no están debidamente desarrollados ni son específicos, tomando como referencia las guías establecidas para edificios no residenciales [4] [6].

Las viviendas no solo presentan fuentes contaminantes particulares frente a otro tipo de espacios, como los productos de limpieza, la cocina, el humo de tabaco o los ambientadores, sino que también el comportamiento de los ocupantes en su vivienda difiere notablemente respecto al uso típico de los edificios no residenciales. En este sentido, la ventilación en muchas viviendas existentes depende de la apertura de ventanas, habiéndose demostrado que en estos casos se prioriza el confort higrotérmico sobre la calidad del aire interior, con los consiguientes problemas de salud [7].

Las anteriores son razones suficientes para realizar un análisis detallado de las características y necesidades de las viviendas en materia de calidad del aire interior. En este capítulo se van a revisar las fuentes contaminantes típicas en viviendas, los tipos de contaminantes esperados en estas y su impacto sobre la salud de sus ocupantes.

### 2.1 CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y DEL CLIMA INTERIOR

La Calidad del Clima Interior se encuadra dentro de las exigencias de un adecuado ambiente interior y comprende dos campos: por un lado, el confort térmico y, por otro, la Calidad del Aire Interior (CAI) [8].

Aun integrantes de un mismo concepto de bienestar, a menudo la exigencia de CAI y de confort térmico se muestran aparentemente reñidas a causa de sus implicaciones sobre la eficiencia energética. Esto se debe a que normalmente contemplamos como principal estrategia de mejora de la CAI un aumento de los caudales de ventilación, lo cual incrementa los requisitos energéticos para su adecuación hasta las condiciones higrotérmicas de confort; sin embargo, en capítulos posteriores de esta guía técnica se verá cómo es posible actuar sobre las condiciones del clima interior para conciliar las exigencias de CAI y confort térmico con las de eficiencia energética.

Así, aunque este documento se centra esencialmente en revisar las características y proponer actuaciones sobre la ventilación en el sector residencial orientadas hacia una adecuada CAI, es preciso tener presentes los factores que determinan el confort térmico de los ocupantes o, lo que es lo mismo, que intervienen en el balance térmico del cuerpo humano.

Estos factores se pueden clasificar en personales y ambientales. En cuanto a los primeros, normalmente se contemplan solo dos [8] [9]: actividad metabólica y vestimenta. Otros posibles factores personales como la edad, el sexo, el país de origen, momento del día, corpulencia etc. estarían relacionados con los dos anteriores, aunque son objeto de numerosos estudios orientados a identificar su influencia [10] [11]. Respecto a los factores ambientales, podemos agruparlos en cuatro: la temperatura seca del aire, la humedad relativa, la velocidad y la temperatura radiante media. No obstante, usualmente trabajamos con estos parámetros agrupados en humedad relativa

y “temperatura operativa”, definida esta última como la “temperatura uniforme de un recinto negro imaginario en el que un ocupante intercambia por radiación y convección que en el ambiente real no uniforme”.

A su vez, la CAI repercute sobre el bienestar de los ocupantes no solo en términos de salubridad, en la cual entra en juego además de la toxicidad de los posibles contaminantes, su concentración, el tiempo de exposición a estos y la vulnerabilidad de los individuos; sino también en términos de seguridad de los materiales del edificio y, no debe olvidarse, de confort. Aun tratándose de una aproximación subjetiva al problema y, para muchos contaminantes, dependiente del tiempo de exposición, la CAI puede expresarse en términos de la percepción sensorial de la misma. Sin embargo, y especialmente debido a que ciertos contaminantes especialmente nocivos como el radón o el monóxido de carbono no pueden ser percibidos sensorialmente, todo contaminante del aire con riesgo potencial sobre la salud debe contemplarse de forma separada. Por otro lado, esta percepción de la CAI se ve influida por la temperatura y humedad del ambiente incluso ante concentraciones idénticas de contaminantes, por lo que mantener el aire seco y fresco puede favorecer una mejor apreciación de la CAI [8].

A lo largo de este documento se analizarán en detalle los distintos factores contaminantes típicos en viviendas, así como sus fuentes; se revisarán las características de los sistemas de ventilación en viviendas y la normativa aplicable, analizando el diseño de los sistemas y las herramientas de control; asimismo, se abordará la optimización de la ventilación contemplando todos los parámetros relevantes en la Calidad del Clima Interior, para plantear las estrategias posibles para conciliar una adecuada CAI y confort térmico con las exigencias actuales de eficiencia energética.

## 2.2 FACTORES CONTAMINANTES EN VIVIENDAS

Los contaminantes del aire interior de viviendas pueden agruparse según su naturaleza en físicos, químicos o biológicos; y por su constitución en inorgánicos, orgánicos, su origen biológico y no biológicos, sus efectos alérgenos. En todo caso, los contaminantes de interés en viviendas son los siguientes [12].

- Partículas.
- Monóxido de carbono.
- Dióxido de carbono, vapor de agua y olores emitidos por los ocupantes.
- Dióxido de nitrógeno.
- Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). Dentro de estos, se presta especial atención al formaldehído.
- Humo de tabaco.
- Contaminantes biológicos: virus, bacteria, ácaros del polvo, hongos, caspa y pelo de animales domésticos, secreciones y otros restos de ciertos insectos, polen y emisiones de plantas de interior

En viviendas confiamos en la ventilación general de los espacios, además de para renovar el aire necesario para respirar, para actuar sobre la calidad del aire interior diluyendo estos contaminantes [13].

Sin embargo, y a pesar de jugar un papel determinante, la ventilación es solo parte de un conjunto de estrategias clave para evitar estos contaminantes y asegurar una adecuada calidad del aire interior. Dentro de estas estrategias se encuentran también la eliminación de fuentes contaminantes evitables, el adecuado diseño de las tomas de aire exterior y el tratamiento de este [14]. En la mayor parte de las viviendas, donde la toma de aire suele ser por las propias ventanas y sin posibilidad alguna de tratamiento, la única actuación adicional a la ventilación es eliminar en lo posible las fuentes