

# Exposición laboral a ozono en entornos de oficina: fuentes de emisión, valores límite ambientales y efectos sobre la salud. Revisión narrativa.

**Asan Mollov<sup>(1)</sup>, Belén Mallen Díaz de Terán<sup>(2)</sup>, Álvaro A. Castillo Araneda<sup>(3)</sup>, Sandra Herrero Herranz<sup>(4)</sup>, Carlota Pegenaute Esparza<sup>(5)</sup>, Estrella Extramiana Cameno<sup>(6)</sup>**

<sup>1</sup>Médico del Trabajo, Servicio Sanitario de Salud Laboral, Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra, Pamplona, Navarra, España. ORCID 0000-0002-5010-7813

<sup>2</sup>Especialista de Enfermería del Trabajo, Servicio Sanitario de Salud Laboral, Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra, Pamplona, Navarra, España. ORCID 0009-0003-3753-0734

<sup>3</sup>Residente Hospital Universitario de Navarra, MIR Unidad Docente Multiprofesional Salud Laboral Pamplona, Navarra, España. ORCID 0009-0000-3151-9233

<sup>4</sup>Médico del Trabajo, Servicio Sanitario de Salud Laboral, Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra, Pamplona, Navarra, España. ORCID 0009-0005-0851-2603v

<sup>5</sup>Médico del Trabajo, Servicio Sanitario de Salud Laboral, Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra, Pamplona, Navarra, España. ORCID 0009-0007-8646-8366

<sup>6</sup>Jefa del Servicio Sanitario de Salud Laboral, Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra, Pamplona, Navarra, España. ORCID 0000-0002-7978-5837

## Correspondencia:

**Asan Mollov**

Dirección postal: Servicio Sanitario de Salud Laboral  
Instituto de Salud Pública y Laboral de  
Navarra. Polígono de Landaben C/ E y F  
31012 - Pamplona

Correo electrónico: ai.mollov@navarra.es

**La cita de este artículo es:** Asan Mollov et al. Exposición laboral a ozono en entornos de oficina: fuentes de emisión, valores límite ambientales y efectos sobre la salud. Revisión narrativa.. Rev Asoc Esp Espec Med Trab 2026; 35(2):394-407

**RESUMEN.**

**Introducción:** El ozono ( $O_3$ ) es un gas incoloro y altamente reactivo cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno que, a nivel del suelo, representa un riesgo químico en entornos de oficina por las emisiones de equipos de impresión y reprografía, purificadores iónicos y la infiltración del ozono troposférico exterior. Su presencia en espacios cerrados está directamente relacionada con el Síndrome del Edificio Enfermo (SEE), cuya prevalencia puede afectar hasta al 30% de los edificios de oficinas.

**Objetivo:** Revisar metódicamente las fuentes de exposición a  $O_3$  en oficinas, los valores límite ambientales vigentes en España e internacionalmente, y los efectos sobre la salud descritos en la literatura científica de los últimos diez años (2015-2025).

**Material y Métodos:** Revisión narrativa de la literatura mediante búsqueda sistemática en PubMed/MEDLINE, Scopus y Web of Science (2015-2025) con los términos: ozone, indoor, office occupational exposure, health effects y los operadores OR y AND. Se incluyeron estudios epidemiológicos observacionales, ensayos clínicos, revisiones sistemáticas y documentos normativos de organismos nacionales e internacionales.

**Resultados:** Las impresoras láser con tecnología de descarga de corona son la principal fuente interna de  $O_3$  en oficinas, con una concentración mediana de  $9,04\mu g/m^3$  y una relación interior/exterior de 0,29. El INSST (LEP 2026) establece un VLA-ED de 0,10 ppm para trabajo ligero, y un VLA-EC de 0,20 ppm; valores equiparables a los del ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales), pero más exigentes que los de la OSHA para este nivel de esfuerzo. La exposición crónica se asocia con inflamación bronquial, enfisema, aumento del riesgo de Síndrome de Dificultad Respiratoria Aguda (SDRA) y daño oxidativo sistémico.

**Conclusiones:** El ozono es un contaminante interior de relevancia creciente en entornos de oficina. La evidencia científica más reciente cuestiona la suficiencia de los límites regulatorios actuales. La Medicina del Trabajo debe incorporar el  $O_3$  interior como factor de riesgo de una evaluación sistemática en oficinas.

**Palabras clave:** ozono; exposición laboral; calidad del aire interior; valores límite ambientales; Medicina del Trabajo; efectos sobre la salud; Síndrome del Edificio Enfermo.

**OCCUPATIONAL OZONE EXPOSURE IN OFFICE ENVIRONMENTS: EMISSION SOURCES, OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMITS AND HEALTH EFFECTS. NARRATIVE REVIEW.****ABSTRACT**

**Introduction:** Ozone ( $O_3$ ) is a colorless, highly reactive gas whose molecule is composed of three oxygen atoms. At ground level, it poses a chemical risk in office environments due to emissions from printing and reprographic equipment, ionizers, and the infiltration of tropospheric ozone from the outside. Its presence in enclosed spaces is directly related to Sick Building Syndrome (SBS), whose prevalence can affect up to 30% of office buildings.

**Objective:** To methodically review the sources of  $O_3$  exposure in offices, the current environmental limit values in Spain and internationally, and the health effects described in the scientific literature of the last ten years (2015-2025).

**Materials and Methods:** A narrative literature review was conducted using a systematic search of PubMed/MEDLINE, Scopus, and Web of Science (2015-2025) with the terms: ozone, indoor, office occupational exposure, health effects, and the operators OR and AND. Observational epidemiological studies, clinical trials, systematic reviews, and normative documents from national and international organizations were included.

**Results:** Laser printers with corona discharge technology are the main indoor source of  $O_3$  in offices, with a median concentration of  $9.04\mu g/m^3$  and an indoor/outdoor ratio of 0.29. The INSST (LEP 2026) establishes a TLV-TWA of 0.10 ppm for light work and a TLV-EC of 0.20 ppm. Values comparable to those of the ACGIH but more stringent than those of OSHA for this level of exertion. Chronic exposure is associated with bronchial inflammation, emphysema, an increased risk of Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS), and systemic oxidative damage.

**Conclusions:** Ozone is an increasingly relevant indoor pollutant in office environments. The most recent scientific evidence questions the adequacy of current regulatory limits. Occupational Medicine should incorporate indoor ozone ( $O_3$ ) as a risk factor in systematic assessments for offices.

**Keywords:** ozone; occupational exposure; indoor air quality; occupational exposure limits; Occupational Medicine; health effects; Sick Building Syndrome.

---

**Fecha de recepción:** 12 de junio de 2026

**Fecha de aceptación:** 4 de septiembre de 2026

---

## Introducción

El ozono ( $O_3$ ) es una molécula triatómica de oxígeno de color azul pálido a altas concentraciones y propiedades olfativas características. En la estratosfera cumple una función protectora frente a la radiación ultravioleta, sin embargo, en la troposfera y especialmente en espacios interiores de trabajo, su presencia supone un riesgo químico relevante de creciente interés en el ámbito de la Medicina del Trabajo<sup>(1,2)</sup>. Constituye un contaminante de acción intensamente oxidante con efectos documentados sobre la salud humana. Aunque la investigación histórica se ha centrado en la exposición ambiental exterior, la evidencia científica más reciente ha puesto de manifiesto que la exposición en interiores, contextualizada por el tiempo de permanencia entre el 70 y el 90% del tiempo diario, puede equipararse o incluso superar a la exterior<sup>(3)</sup>.

En el contexto de la higiene ocupacional contemporánea, el trabajo en oficina no se limita a un espacio físico estático, sino que se define como un ecosistema dinámico de microambientes cerrados, caracterizados por una exposición laboral continua y prolongada a trabajo sedentario. Desde la perspectiva del riesgo químico, este entorno operativo está intrínsecamente condicionado por la interacción entre sistemas de ventilación natural y artificial, climatización, factores que regulan la infiltración del ozono troposférico exterior y sistemas de desinfección por ozonización, que han diversificado y amplificado las fuentes internas de  $O_3$ . La actividad ofimática actual implica la coexistencia directa de las personas trabajadoras con fuentes de emisión endógenas, como dispositivos electrostáticos de reprografía (impresoras láser y fotocopiadoras) y tecnologías emergentes de purificación ambiental mal calibradas, generadores de campos eléctricos capaces de ionizar el oxígeno y elevar localmente las concentraciones de  $O_3$ . El deterioro de la calidad del aire en entornos urbanos, también ha incrementado la fracción de ozono troposférico

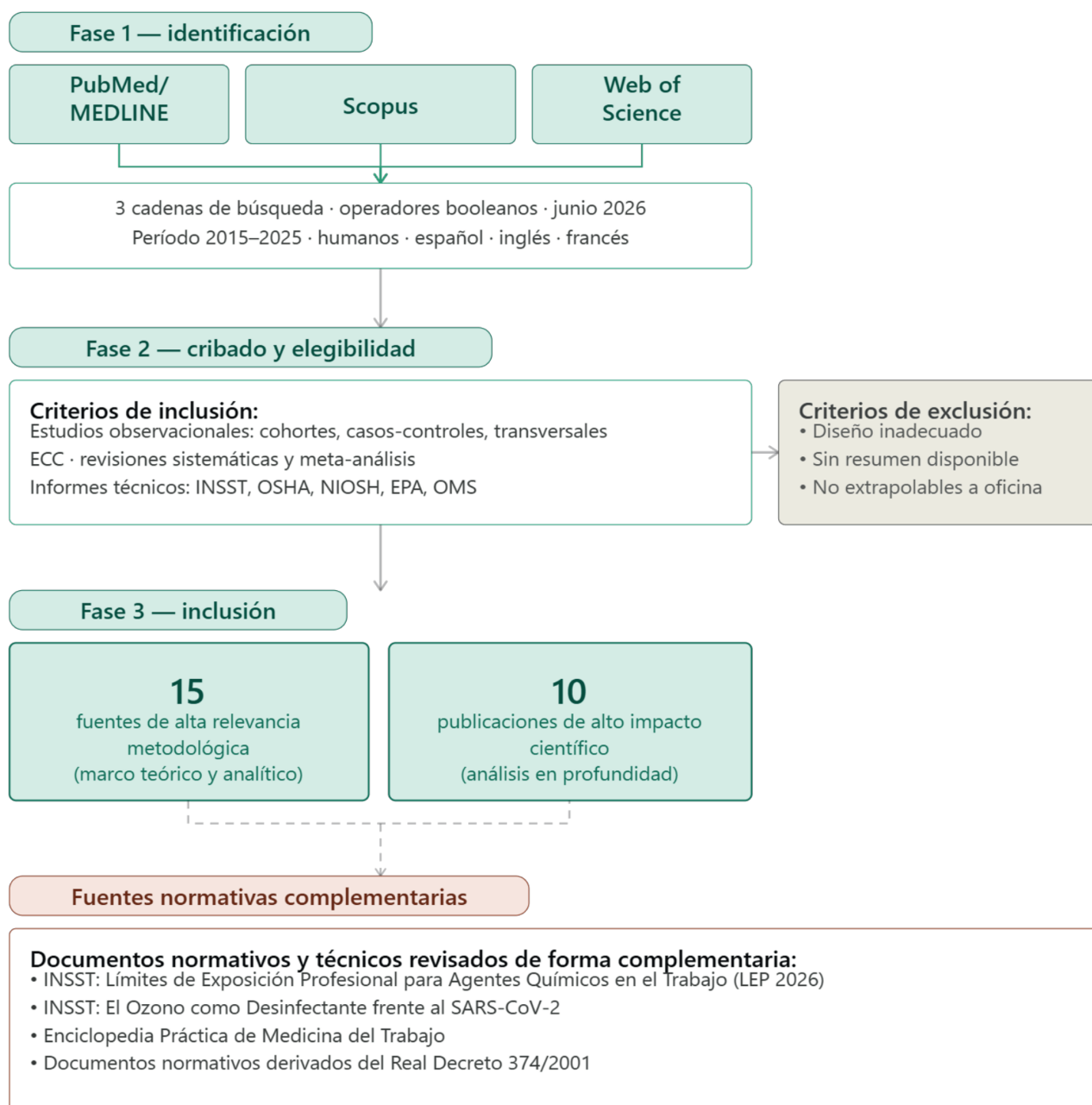
que se infiltra en los edificios a través de los sistemas de ventilación<sup>(4,5)</sup>.

La Enciclopedia Práctica de Medicina del Trabajo<sup>(6)</sup>, obra de referencia en Medicina del Trabajo, recoge que hasta el 30% de los edificios de oficinas pueden presentar problemas significativos de calidad del aire interior y que entre el 10 y el 30% de sus ocupantes pueden sufrir efectos adversos para la salud relacionados con contaminantes de interiores, entre los que el  $O_3$  desempeña un papel patogénico reconocido en el denominado Síndrome del Edificio Enfermo (SEE). Los síntomas del SEE; cefalea, irritación ocular, tos seca, congestión nasal, opresión torácica, guardan una coherencia fisiopatológica directa con los efectos agudos del ozono sobre las mucosas respiratoria y conjuntival<sup>(6,7)</sup>. La densidad de ocupación, el diseño arquitectónico de plantas abiertas y los patrones de ventilación pulmonar basal propios de la baja carga metabólica relacionada con puestos de trabajos de baja exigencia física, configuran un escenario de riesgo específico, diferenciado del ámbito industrial clásico, donde los efectos subagudos y crónicos sobre la salud respiratoria se derivan de la permanencia prolongada en atmósferas interiores modificadas.

## Objetivos

El abordaje de interrogantes clínico-técnicos de baja prevalencia, mediante la consulta ágil de la evidencia científica, requiere de revisiones narrativas a través de metabuscadores biomédicos especializados. Mediante la formulación de una estrategia de búsqueda estructurada, basada en descriptores de ciencias de la salud (MeSH) y operadores booleanos, y la posterior aplicación de filtros por tipología documental y ventana temporal, se optimiza la recuperación de síntesis de literatura global. Este procedimiento permite recopilar la evidencia fragmentaria disponible sobre condiciones infrecuentes, ofreciendo un marco teórico de referencia que sustenta la toma de decisiones clínicas y metodológicas con base en el mayor rigor científico disponible para estos escenarios en el menor tiempo posible.

FIGURA 1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS FASES DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.



ECC: ensayos clínicos controlados. Búsquedas realizadas en junio de 2026. Adaptado del modelo PRISMA 2020.

Ante este escenario, el presente trabajo de revisión narrativa tiene como objetivo caracterizar las fuentes de exposición a  $O_3$  en entornos de oficina, y evaluar los valores límite ambientales vigentes, tanto en la normativa española como en el ámbito internacional. Asimismo, se busca sistematizar los efectos sobre la salud descritos en la literatura científica en función de la perspectiva temporal de la exposición, e identificar los recursos institucionales españoles disponibles para la consulta y asistencia técnica en materia de riesgo químico por este compuesto.

## Material y Métodos

Se realizó una revisión narrativa de la literatura mediante búsqueda semiestructurada en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus y Web of Science, con restricción temporal al periodo 2015-2025. Los términos de búsqueda empleados, combinados con operadores booleanos, fueron:

“ozone” OR “O3”) AND (“indoor” OR “office” OR “workplace” OR “occupational exposure”) AND (“health effects” OR “respiratory” OR “cardiovascular” OR “lung function”); (“laser printer” OR “photocopier” OR “copier”) AND (“ozone emission” OR “indoor air quality”); (“occupational exposure limit” OR “TLV” OR “VLA” OR “PEL”) AND “ozone”.

Los criterios de inclusión fueron: estudios epidemiológicos observacionales (cohortes, casos y controles, transversales), ensayos clínicos controlados, revisiones sistemáticas y meta-análisis, e informes técnicos de organismos reguladores y técnico-científicos (INSST, OSHA, NIOSH, EPA, OMS). Se excluyeron estudios con diseño inadecuado, sin resumen disponible, y aquellos cuyos datos de exposición no fueran extrapolables a entornos de oficina. Todas las búsquedas se realizaron en junio del 2026, filtros: humanos, 2015-2025, español, inglés, francés.

De forma complementaria se revisaron: el documento LEP 2026 del Instituto Nacional de

Seguridad y Salud en el Trabajo<sup>(1)</sup>; el documento “El Ozono como Desinfectante Frente al SARS-CoV-2” del INSST<sup>(7)</sup>; la Enciclopedia Práctica de Medicina del Trabajo<sup>(6)</sup>; y los documentos normativos derivados del Real Decreto 374/2001 sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo<sup>(8)</sup>.

## Resultados

Se seleccionaron 15 fuentes bibliográficas de alta relevancia metodológica para sustentar el marco teórico y analítico de esta investigación, junto con el resto de fuentes y textos oficiales consultados. Finalmente, se analizaron en profundidad 10 publicaciones de alto impacto científico. Figura 1. Las impresoras láser y fotocopadoras constituyen la fuente interna de  $O_3$  de mayor relevancia en el ámbito de la oficina. El mecanismo generador es la tecnología de descarga de corona. Un filamento de alta tensión ioniza el oxígeno del aire circundante durante el proceso de revelado electrostático, liberando subproductos como el  $O_3$  junto con compuestos orgánicos volátiles (COV) y semivolátiles, formaldehído, partículas ultrafinas y otros contaminantes químicos<sup>(9,10)</sup>. Tuomi et al. demostraron que las impresoras con tecnología de corona convencional emiten cantidades significativas de  $O_3$  y formaldehído, mientras que la fotocopadora emite predominantemente ozono<sup>(10)</sup>. La concentración de  $O_3$  generada depende del volumen de impresión, la presencia de filtros, la ventilación del local y la antigüedad del equipo. Los equipos modernos con certificación GREENGUARD o Blue Angel generan emisiones generalmente indetectables o inferiores al umbral de percepción olfativa (~0,01 ppm)<sup>(9)</sup>. Ambas son certificaciones ecológicas reconocidas internacionalmente, pero se enfocan en aspectos distintos: GREENGUARD se especializa exclusivamente en la calidad del aire interior y las emisiones químicas, mientras que Blue Angel es un sello integral de sostenibilidad que evalúa el ciclo de vida completo de un producto.

Los purificadores de aire basados en ionización por descarga eléctrica generan  $O_3$  como subproducto inherente a su funcionamiento<sup>(11)</sup>. Dong et al. demostraron en un ensayo clínico aleatorizado doble ciego que el uso de este tipo de purificadores en aulas empeora paradójicamente determinados parámetros cardiorrespiratorios en niños respecto al grupo control, efecto atribuido precisamente a la generación de  $O_3$ <sup>(11)</sup>. Los generadores de ozono destinados a la desinfección de espacios representan una fuente adicional, el INSST advierte explícitamente que no deben aplicarse en presencia de personas y que se debe garantizar la ventilación completa antes de la reocupación<sup>(7)</sup>.

La Enciclopedia Práctica de Medicina del Trabajo (2019) recoge textualmente que el ozono es un agente útil como desinfectante de aguas, junto al dióxido de cloro y el yodo, en concentraciones de 8 partes por millón (ppm). En edificios con sistemas de climatización o de tratamiento de agua que incorporen ozonización, puede producirse exposición residual del personal técnico de mantenimiento.

El ozono troposférico exterior puede penetrar en los edificios a través de los sistemas de ventilación y la infiltración natural, especialmente durante los meses de verano y en entornos urbanos con alta radiación solar y tráfico intenso. La revisión de Salonen et al.<sup>(4)</sup>, la más completa disponible sobre  $O_3$  en oficinas y escuelas con datos de 154 estudios de todo el mundo, cifra la relación interior/exterior (I/O) en un valor mediano de 0,29 para entornos de oficina, con una concentración mediana interior de  $9,04 \mu g/m^3$ . Dado que las personas permanecen en interiores entre el 70 y el 90% de su tiempo, la exposición acumulada interior puede equipararse a la exterior<sup>(3,4)</sup>. Tabla 1.

#### Marco normativo y valores límite ambientales

La normativa española de regulación de la exposición laboral a agentes químicos se articula fundamentalmente en la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y el Real

Decreto 374/2001 sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo y sus modificaciones posteriores mediante el Real Decreto 598/2015, de 3 de julio y Real Decreto 818/2018, de 6 de julio, que obliga al empresario a evaluar el riesgo químico y compararlo con los Valores Límite Ambientales (VLA) publicados anualmente por el INSST. Guía Técnica basada en el RD 374/2001 para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos (INSST, 2022)<sup>(8)</sup>. El documento LEP 2026 (1), aprobado por la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo el 30 de enero de 2026 es la referencia normativa vigente y establece para el ozono dos tipos de valores. VLA-ED (Valor Límite Ambiental — Exposición Diaria): concentración media ponderada en el tiempo (TWA) para una jornada de 8 horas diarias y 40 horas semanales. El INSST ajusta este valor a la intensidad del esfuerzo físico, dado que la ventilación pulmonar acelerada aumenta la dosis inhalada. VLA-EC (Exposición de Corta Duración): concentración media ponderada en el tiempo a lo largo de cualquier periodo de 15 minutos que no debe superarse en ningún momento de la jornada laboral.

Otras fuentes oficiales consultadas fueron; La NTP 526: Valores límite de exposición profesional en la Unión Europea y en España (INSST) (12), el documento INSST 'El Ozono como Desinfectante Frente al SARS-CoV-2' (2020): tabla de límites por organismo y efectos para la salud<sup>(13)</sup> y la UNE-EN 15251: Criterios del ambiente interior para el diseño, la evaluación energética de edificios y la calidad del aire, temperatura, luz y ruido en interiores<sup>(14)</sup>. Tabla 2.

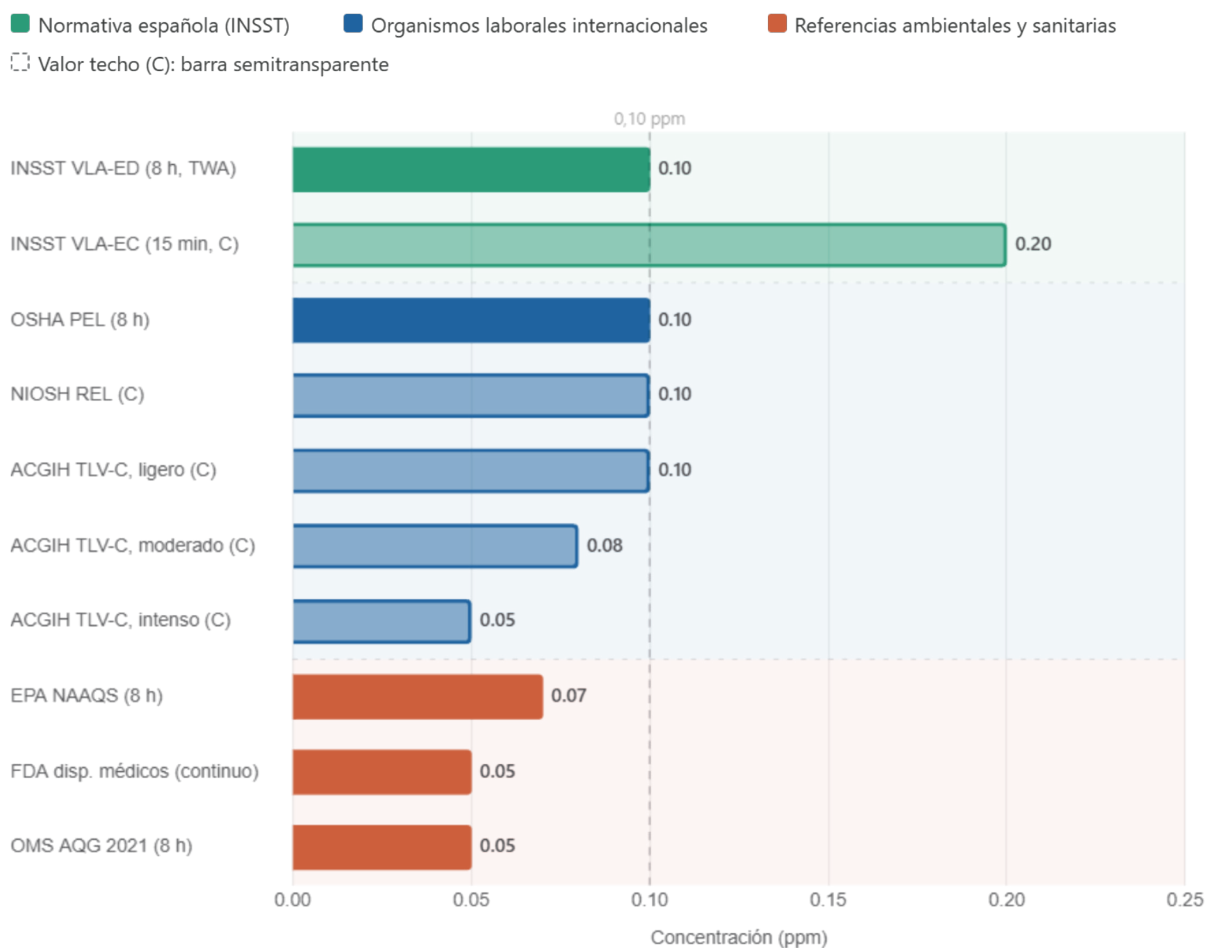
Para la evaluación del riesgo en oficinas, las tareas se clasifican habitualmente como trabajo LIGERO, por lo que el VLA-ED aplicable es de 0,10 ppm. Sin embargo, en tareas de mantenimiento o uso puntual de generadores de ozono, debe calcularse la Exposición de Corta Duración y compararla con el VLA-EC (0,20 ppm)<sup>(1,7)</sup>.

| FUENTE INTERNA                                                                 | FUENTE EXTERNA                                       | FUENTE INTENCIONAL                               |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Impresoras láser (descarga de corona)                                          | Infiltración troposférica urbana (vía HVAC*)         | Generadores de O3 para desinfección              |
| Fotocopiadoras convencionales                                                  | Penetración por ventanas y orificios arquitectónicos | Purificadores ionizantes (subproducto)           |
| Equipos multifunción (fax, scanner)                                            | Contaminación de zonas industriales próximas         | Lámparas UV-C (<240nm) para desinfección         |
| Sistemas de climatización mal mantenidos                                       | Mayor en verano y en áreas de alta insolación        | Ozonización de agua en edificios (mantenimiento) |
| HVAC son las siglas en inglés de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado |                                                      |                                                  |

| TABLA 2. VALORES LÍMITE AMBIENTALES PARA EL OZONO SEGÚN EL INSST LEP 2026, EN FUNCIÓN DEL TIPO DE TRABAJO Y SU DURACIÓN. |              |                |                |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|----------------|-------------------------------|
| TIPO DE TRABAJO / DURACIÓN                                                                                               | VLA-ED (PPM) | VLA-ED (MG/M³) | TIPO DE LÍMITE | APLICACIÓN TÍPICA             |
| Trabajo LIGERO                                                                                                           | 0,10         | 0,20           | VLA-ED         | Oficina convencional          |
| Trabajo MODERADO                                                                                                         | 0,08         | 0,16           | VLA-ED         | Limpieza, mantenimiento leve  |
| Trabajo PESADO                                                                                                           | 0,05         | 0,10           | VLA-ED         | Mantenimiento, mudanzas       |
| Exposición breve (<=15 min), cualquier trabajo                                                                           | 0,20         | 0,40           | VLA-EC         | Desinfección puntual, averías |

| TABLA 3. SÍNTESIS DE LOS EFECTOS SOBRE LA SALUD EN FUNCIÓN DEL HORIZONTE TEMPORAL DE EXPOSICIÓN AL OZONO EN ENTORNOS DE OFICINA. |                                                                                                                                                                                                |                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| TEMPORALIDAD                                                                                                                     | EFECTOS DOCUMENTADOS                                                                                                                                                                           | REFERENCIAS                                                                            |
| Agudo (minutos-horas)                                                                                                            | Irritación nasal, faríngea y ocular; tos seca; reducción FVC/FEV <sub>1</sub> ; dolor torácico; neutrofilia en BAL; alteración de variabilidad de FC.                                          | INSST 2020 <sup>(7)</sup> ; Liu 2024 <sup>(18)</sup> ; Dong 2019 <sup>(11)</sup>       |
| Medio plazo (semanas-meses)                                                                                                      | Inflamación crónica de vía aérea; exacerbación del asma; aumento de biomarcadores oxidativos (8-isoprostano); aumento de presión arterial sistólica; deterioro de FEV <sub>1</sub> , FVC, PEF. | Salonen 2018 <sup>(4)</sup> ; Lyu 2021 <sup>(19)</sup> ; Liu 2021/2023 <sup>(3)</sup>  |
| Crónico (años)                                                                                                                   | Enfisema; inflamación bronquiolar crónica (EPOC-like); asma de nueva aparición en niños; aumento de riesgo de SDRA; daño oxidativo sistémico persistente.                                      | Wiegman 2020 <sup>(16)</sup> ; Moss 2016 <sup>(17)</sup> ; EPA ISA 2020 <sup>(5)</sup> |

**FIGURA 2. COMPARACIÓN DE VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN AL OZONO SEGÚN ORGANISMOS NACIONALES E INTERNACIONALES.**



C: valor techo — concentración máxima no superable en ningún momento de la jornada laboral. TWA: media ponderada en el tiempo (8 h). ACGIH TLV-C diferencia por intensidad de esfuerzo: ligero/trabajo de oficina  $\leq 0,10$  ppm · moderado  $\leq 0,08$  ppm · intenso  $\leq 0,05$  ppm. La línea discontinua vertical señala 0,10 ppm (umbral más extendido en normativa ocupacional).

Fuentes: INSST (2026); ACGIH TLV-BE (2024); OSHA 29 CFR 1910.1000; NIOSH Pocket Guide; EPA NAAQS; FDA 21 CFR 801.415; OMS/WHO AQG (2021).

La Tabla 3 recoge los valores límite establecidos por los principales organismos reguladores a nivel internacional para actividad laboral de oficinas. El INSST se alinea con el ACGIH (TLV-C) y es más restrictivo que la OSHA estadounidense para trabajo ligero. Las Directrices de Calidad del Aire de la OMS de 2021<sup>(15)</sup> establecen un valor guía de 0,05 ppm (100µg/m<sup>3</sup>) para la media de 8 horas en exteriores, que debe considerarse como umbral

de alerta complementario cuando se valora la calidad del aire interior en edificios con alta tasa de infiltración exterior.

#### Efectos sobre la salud

El ozono es clasificado por la ECHACHEM Public Chemicals Database como sustancia peligrosa por vía respiratoria, irritante de piel y causante de daño ocular. El INSST subraya que

se encuentra adicionalmente en evaluación como posible alterador endocrino. La susceptibilidad individual es variable, tanto personas sanas como aquellas con patología respiratoria previa pueden experimentar reducciones considerables de la función pulmonar incluso a concentraciones relativamente bajas.

El mecanismo central de daño del  $O_3$  es el estrés oxidativo. Al entrar en contacto con las células epiteliales de la vía respiratoria, el ozono reacciona generando especies reactivas de oxígeno (ROS) y lípidos oxidados, que desencadenan una cascada inflamatoria dependiente de la concentración y la duración de la exposición (16,17). La susceptibilidad individual es variable, la Enciclopedia Práctica de Medicina del Trabajo (6) y el INSST (7) advierten que tanto personas sanas como aquellas con enfermedades respiratorias previas pueden experimentar reducciones considerables de la función pulmonar con cantidades relativamente bajas de  $O_3$ , y que algunas personas sensibles muestran efectos adversos por debajo de los valores límite establecidos.

### Efectos agudos

Los efectos agudos son predominantemente sobre el aparato respiratorio y las mucosas. La exposición a concentraciones entre 0,05 y 0,10 ppm produce irritación nasal y faríngea, tos seca, ardor ocular y reducción de los parámetros espirométricos (FVC y FEV<sub>1</sub>). Por encima de 0,10 ppm aparecen dolor torácico, disnea y neutrofilia en lavado broncoalveolar, indicativa de inflamación aguda de la vía aérea inferior (7,17). La actividad física potencia el riesgo al incrementar la ventilación minuto y, por tanto, la dosis inhalada efectiva.

La Enciclopedia (6) recoge entre los síntomas del SEE, directamente relacionados con la mala calidad del aire interior, síntomas inespecíficos, coherentes con la exposición aguda a ozono a bajas concentraciones: dolor de cabeza, somnolencia, dificultad de concentración, irritabilidad; picor de ojos, nariz y garganta; escozor, enrojecimiento e irritación ocular; congestión y prurito nasal, estornudos, ronquera; tos seca y opresión torácica.

Liu et al. (18) demostraron que incluso la exposición nocturna a ozono interior a bajas concentraciones altera significativamente los parámetros respiratorios durante el sueño, identificando el sistema respiratorio como el órgano diana prioritario de la exposición interior. Por su parte, el estudio de Dong et al. en niños (11) constató que la exposición a  $O_3$  interior sin efecto respiratorio detectable, producía alteración significativa de la función autónoma cardíaca, medida como variabilidad de la frecuencia cardíaca, a concentraciones de  $O_3$  por debajo de los límites regulatorios actuales.

### Efectos a medio plazo

La exposición repetida a concentraciones cercanas o superiores al VLA típica de personas trabajadoras en salas de reprografía mal ventiladas, provoca inflamación crónica de la vía aérea, exacerbación clínica del asma bronquial respecto a la frecuencia e intensidad de las crisis. El aumento del estrés oxidativo sistémico y la inflamación crónica de las vías respiratorias deriva a remodelación de la pared bronquial, evidenciado por elevación de biomarcadores como 8-isoprostano. Se describen alteraciones de la función autonómica cardíaca (disminución de la variabilidad de la frecuencia cardíaca), incluso a concentraciones de ozono interior por debajo de los umbrales regulatorios actuales. Según estudios recientes en población infantil y adulta se reporta mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias del tracto superior e inferior (7). Investigaciones de Salonen et al. (4) y Liu et al. (3,18) confirman que los efectos cardiorrespiratorios son detectables a concentraciones de  $O_3$  interior muy por debajo de los estándares regulatorios, lo que cuestiona la suficiencia de los valores límite vigentes para la protección de poblaciones sensibles.

En el ámbito específico de trabajadores de impresión, Lyu et al. (19) demostraron en un estudio epidemiológico que la exposición a las emisiones de impresoras que incluyen  $O_3$ , COV y nanopartículas, se asocia de forma estadísticamente significativa con aumento de la presión arterial

sistólica y disminución de los parámetros de función pulmonar ( $FEV_1$ , FVC y PEF), con un efecto dosis-dependiente especialmente marcado en personas con más de 10 años de exposición.

### Efectos crónicos

La evidencia epidemiológica y experimental sobre exposición crónica al ozono es creciente, aunque con mayor incertidumbre que la de la exposición aguda. Desarrollo de lesiones en la región centroacinar del pulmón similares a las observadas en fumadores jóvenes, con destrucción de tejido alveolar (enfisema) e inflamación bronquiolar crónica, son los mecanismos que constituyen un modelo de EPOC inducida por ozono en asociación con mayor mortalidad y hospitalización por causa respiratoria y cardiovascular, aunque el riesgo atribuible a largo plazo sigue siendo objeto de debate científico. Aumenta el riesgo de desarrollo de Síndrome de Dificultad Respiratoria Aguda (SDRA) en pacientes críticos con exposición crónica previa al ozono, incluso a niveles relativamente bajos. Según datos de modelos animales y estudios epidemiológicos se reporta posible efecto sobre el desarrollo cognitivo y la salud reproductiva (incluido parto pre-término), que requieren confirmación definitiva en humanos. La elevación de los marcadores de peroxidación lipídica (8-isoprostano) correlacionada con la exposición acumulada a lo largo de la vida, sugiere daño oxidativo sistémico sostenido.

Wiegman et al.<sup>(16)</sup> describieron en un riguroso artículo de revisión como la exposición crónica al ozono activa en modelos murinos las mismas vías de estrés oxidativo que el tabaco, generando muerte celular, inflamación bronquiolar crónica y destrucción del tejido alveolar (enfisema), en un patrón que mimetiza la EPOC. Estos hallazgos consolidan el papel del  $O_3$  como factor ambiental independiente en la patogenia de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. En población humana, el Integrated Science Assessment for Ozone de la US EPA<sup>(5)</sup> concluye que la evidencia epidemiológica establece una asociación causal

suficiente entre la exposición crónica al  $O_3$  y el asma de nueva aparición en niños, e indica evidencia sugestiva de causalidad para la mortalidad cardiovascular y respiratoria a largo plazo.

Moss et al.<sup>(17)</sup> publicaron el primer estudio que asocia la exposición crónica al ozono ambiental, incluso a concentraciones relativamente bajas con un riesgo significativamente aumentado de desarrollar Síndrome de Dificultad Respiratoria Aguda (SDRA) en pacientes críticos. Sus hallazgos sugieren que el  $O_3$  es un factor de riesgo ambiental previamente no reconocido para esta grave complicación, equiparable en magnitud al tabaquismo o el abuso de alcohol.

### Revisión De Los Estudios Científicos De Mayor Relevancia (2015-2025)

La Tabla 4 sintetiza los diez estudios internacionales de mayor impacto identificados en la búsqueda bibliográfica sobre exposición a ozono en interiores durante el periodo 2015-2025. El marco institucional de gestión y asistencia técnica frente al riesgo por exposición laboral a agentes químicos en España, y particularmente aplicable al ozono ( $O_3$ ), se articula a través de una red de organismos con competencias científicas, normativas y ejecutivas. En el núcleo científico-técnico se sitúa el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), organismo encargado de elaborar las Notas Técnicas de Prevención (NTP) y de publicar anualmente el documento de Límites de Exposición Profesional (LEP 2026). Estos límites normativos son aprobados por la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (CNSST), órgano colegiado encargado de coordinar las políticas entre el gobierno central y las comunidades autónomas. A nivel de ejecución territorial, los órganos técnicos de las Comunidades Autónomas asumen las competencias ejecutivas de prevención de riesgos laborales (PRL), mientras que la vigilancia, la fiscalización y la potestad sancionadora respecto al cumplimiento del Real Decreto 374/2001 recaen sobre la Inspección de Trabajo y Seguridad Social (ITSS). En el ámbito

**TABLA 4. RESUMEN DE LOS DIEZ ESTUDIOS DE MAYOR RELEVANCIA SOBRE EXPOSICIÓN A OZONO EN ENTORNOS INTERIORES / LABORALES (2015-2025).**

| AUTORES / AÑO                         | DISEÑO                                  | POBLACIÓN / ÁMBITO                                     | HALLAZGOS PRINCIPALES                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Salonen et al., 2018 <sup>(4)</sup>   | Revisión sistemática (154 estudios)     | Oficinas y escuelas globales                           | O <sub>3</sub> mediana en oficinas: 9,04 µg/m <sup>3</sup> ; I/O mediano: 0,29. Las concentraciones de O <sub>3</sub> y sus productos de reacción deben minimizarse; trazas de O <sub>3</sub> son potencialmente dañinas. |
| *Wiegman et al., 2020 <sup>(16)</sup> | Revisión modelos experimentales         | Modelos murinos de EPOC                                | Exposición crónica a O <sub>3</sub> activa vías oxidativas idénticas al tabaco: muerte celular epitelial, enfisema, inflamación bronquiolar crónica. O <sub>3</sub> como modelo experimental de EPOC.                     |
| Moss et al., 2016 <sup>(17)</sup>     | Estudio de cohorte (pacientes críticos) | Unidades de cuidados intensivos, EE.UU.                | Exposición crónica a O <sub>3</sub> ambiental aumenta significativamente el riesgo de SDRA en pacientes críticos, incluso a niveles bajos. Factor de riesgo ambiental no reconocido previamente.                          |
| Liu et al., 2021-2023 <sup>(3)</sup>  | Serie de estudios epidemiológicos       | Adultos, China                                         | Efectos cardiorrespiratorios detectables a concentraciones de O <sub>3</sub> interior muy por debajo de los estándares regulatorios. Cuestionan la suficiencia de los límites actuales.                                   |
| Lyu et al., 2021 <sup>(19)</sup>      | Estudio transversal                     | 53 trabajadores de impresión vs. 54 controles, Beijing | Exposición a emisiones de impresoras asociada con aumento de PA sistólica y reducción de FEV <sub>1</sub> , FVC y PEF, especialmente con >10 años de exposición.                                                          |
| Dong et al., 2019 <sup>(11)</sup>     | ECA doble ciego cruzado                 | Niños en escuelas, Beijing                             | Purificadores ionizantes empeoran parámetros cardiorrespiratorios por generación de O <sub>3</sub> como subproducto. Efecto paradójico adverso documentado.                                                               |
| Liu X et al., 2024 <sup>(18)</sup>    | Estudio prospectivo                     | Adultos, China (exposición nocturna)                   | Primera evidencia en población general: O <sub>3</sub> interior durante el sueño afecta principalmente al sistema respiratorio. Resalta necesidad de monitorizar la calidad del aire durante el reposo.                   |
| Chen JH et al., 2020 <sup>(20)</sup>  | Monitoreo en tiempo real                | Adultos jóvenes sanos                                  | Variaciones diarias de O <sub>3</sub> ambiental correlacionan con indicadores de función pulmonar e inflamación de vías aéreas, reforzando el paradigma de ausencia de umbral seguro.                                     |
| Liu et al., 2025 <sup>(3)</sup>       | Revisión narrativa                      | Entornos interiores globales                           | O <sub>3</sub> interior como amenaza emergente. La exposición interior puede igualar o superar la exterior. Concluye la necesidad de revisar los estándares de calidad del aire interior para espacios de trabajo.        |
| US EPA, 2020 <sup>(5)</sup>           | ISA (documento normativo-científico)    | Revisión global                                        | Causalidad suficiente entre O <sub>3</sub> y efectos respiratorios agudos. Evidencia sugestiva de causalidad para mortalidad cardiovascular y respiratoria a largo plazo. Documento regulatorio de referencia mundial.    |

\*Excepción de estudio que no cumple con el filtro humanos por su relevancia con el tema de investigación.  
 BAL: lavado broncoalveolar; FC: frecuencia cardíaca; SDRA: Síndrome de Dificultad Respiratoria Aguda;  
 O3RP: productos de reacción del ozono; I/O: relación interior/exterior.

operativo interno de las empresas, la evaluación de riesgos, las mediciones ambientales de  $O_3$  y la implantación de medidas correctoras son delegadas a los Servicios de Prevención de Riesgos Laboral acreditados y a las Mutuas Colaboradoras con la Seguridad Social, entidades responsables del diseño de protocolos de vigilancia de la salud y atención sanitaria para profesionales expuestos a agentes químicos. Por último, la transferencia de conocimiento y la armonización de criterios se canalizan a nivel nacional a través de sociedades científicas como la Asociación Española de Higiene Industrial (AEHI) y, en la escala internacional, mediante el punto focal español de la Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA), el cual actúa como nodo de difusión de los marcos preventivos europeos.

## Discusión

Un aspecto de trascendental importancia en la higiene ocupacional actual es que, en condiciones ambientales y ocupacionales reales, las personas raramente se encuentran expuestos a un único contaminante químico, por el contrario, coexisten en una matriz de exposición poliquímica sistémica. En este contexto, el impacto epidemiológico del  $O_3$  se ve condicionado por la presencia de co-contaminantes que suelen actuar como potenciadores de su toxicidad latente. Las investigaciones actuales sugieren que los modelos de evaluación de riesgo tradicionales, basados en umbrales de dosis-respuesta monocuánticos, subestiman los efectos crónicos del  $O_3$  cuando este interactúa con mezclas complejas. En consecuencia, descifrar el rol de este agente dentro del exposoma químico es un paso imperativo para formular guías y protocolos de seguridad regulatorias que sean verdaderamente representativas y eficaces.

Los resultados de esta revisión confirman que el ozono es un contaminante interior de relevancia higiénica en entornos de oficina cuya importancia ha sido históricamente subestimada. La convergencia de tres vectores, proliferación

de equipos generadores de  $O_3$ , aumento del ozono troposférico exterior por efecto del cambio climático e incremento del tiempo de permanencia en interiores, configura un escenario de exposición acumulada de notable relevancia para la Medicina del Trabajo<sup>(3,4,5)</sup>.

Un hallazgo de especial relevancia clínica es que la evidencia más reciente documenta efectos cardiorrespiratorios a concentraciones de  $O_3$  interior muy por debajo de los límites regulatorios actuales<sup>(3,18)</sup>. Esto sugiere que el paradigma clásico de “exposición por debajo del VLA = ausencia de riesgo”, debe revisarse en el contexto del ozono interior, especialmente para trabajadores con asma, EPOC u otras patologías respiratorias previas, población que la legislación española encuadra como especialmente sensible en virtud del artículo 25 de la LPRL.

La comparación normativa (Figura 2) revela que el sistema español de VLA diferenciados por intensidad de trabajo, adoptado del ACGIH, ofrece un marco de evaluación más matizado y fisiológicamente fundamentado que el límite único de la OSHA estadounidense. No obstante, ambos se sitúan por encima de la directriz de la OMS de 0,05 ppm para la media de 8 horas en exteriores<sup>(15)</sup>, lo que aconseja adoptar este valor como umbral de precaución complementario en oficinas con alta tasa de infiltración exterior o presencia simultánea de múltiples fuentes internas.

Desde la perspectiva de la Medicina del Trabajo, la Enciclopedia Práctica de Medicina del Trabajo (6) proporciona el marco clínico y preventivo para la gestión del SEE en oficinas, cuya sintomatología, cefalea, irritación mucosa, tos seca, opresión torácica es fisiopatológicamente coherente con la exposición subumbral continuada a  $O_3$ . El protocolo de cuatro fases que describe dicha obra desde la investigación inicial hasta el examen médico y el análisis de contaminantes es directamente aplicable a la evaluación de la exposición a ozono en edificios de oficinas sospechosos de presentar SEE. Los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales debe estar alerta

ante la presencia de este patrón sintomático en personal de oficina, incorporando la medición de  $O_3$  interior en el protocolo de evaluación de riesgos e investigación ambiental.

En cuanto a las limitaciones de esta revisión, debe señalarse que la heterogeneidad metodológica entre estudios en diseño, métodos de medición, características de los edificios y características de los participantes dificulta la comparación cuantitativa de los efectos. Asimismo, la mayoría de los estudios epidemiológicos disponibles proceden de entornos asiáticos, cuyas características de construcción y climatización pueden diferir significativamente de las oficinas europeas y en su defecto españolas. Son necesarios estudios en entornos europeos con medición individual de la exposición a  $O_3$  y sus productos de reacción, que permitan establecer relaciones dosis-respuesta más precisas para la población trabajadora española.

En términos generales, la exposición crónica a  $O_3$  interior podría estar relacionado con patologías graves como inflamación bronquiolar, enfisema (fenotipo EPOC-like), asma, síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) y daño oxidativo sistémico persistente. Se asocia estrechamente con la manifestación del Síndrome del Edificio Enfermo (SEE) en espacios mal ventilados, caracterizado por una exacerbación de la sintomatología durante la jornada laboral y remisión extra laboral. La vigilancia de la salud debe contemplar este factor de riesgo mediante anamnesis dirigidas en la historia clínico-laboral, evaluando la proximidad de los equipos emisores, y la indicación de pruebas funcionales respiratorias en personal expuesto. Respecto a la evaluación del riesgo, se deberán planificar mediciones ambientales periódicas de  $O_3$  con detectores calibrados. Los resultados promoverán la implicación empresarial en implantación de medidas preventivas jerarquizadas; sustitución de equipos no certificados, optimización de la ventilación natural, instalación de filtración específica (extracción local), controles

administrativos y, de modo subsidiario, equipos de protección individual.

## Bibliografía

1. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2026. Aprobado por la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo el 30 de enero de 2026. Madrid: INSST; 2026.
2. Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA). Chemical risks in the workplace. Disponible en: <https://osha.europa.eu>. [Consultado junio 2026].
3. Liu Y, et al. Indoor ozone and ozone reaction products: an emerging health threat. *Environ Pollut*. 2025. DOI: 10.1016/j.envpol.2025.127416
4. Salonen H, Salthammer T, Morawska L. Human exposure to ozone in school and office indoor environments. *Environ Int*. 2018;119:503-514. doi:10.1016/j.envint.2018.07.012.
5. US Environmental Protection Agency (EPA). Integrated science assessment for ozone and related photochemical oxidants. Research Triangle Park (NC): US EPA; 2020.
6. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Enciclopedia práctica de medicina del trabajo. Madrid: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad; 2019.
7. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). El ozono como desinfectante frente al coronavirus SARS-CoV-2. Versión actualizada 29 de junio de 2020. Madrid: INSST; 2020.
8. España. Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Boletín Oficial del Estado. 2001.
9. Brown SK. Chamber assessment of formaldehyde and VOC emissions from wood-based panels. *Indoor Air*. 1999;9(3):209-215.
10. Tuomi T, Engström K, Mustakallio K, et al. Emission of ozone and organic volatiles from

a selection of laser printers and photocopiers. *Indoor Air*. 2000;10(3):170-177. doi:10.1034/j.1600-0668.2000.010003170.x.

11. Dong W, Liu S, Chu M, et al. Different cardiorespiratory effects of indoor air pollution intervention with ionization air purifier: findings from a randomized, double-blind crossover study among school children in Beijing. *Environ Pollut*. 2019;254(Pt B):113046. doi:10.1016/j.envpol.2019.113046.

12. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). NTP 526: valores límite de exposición profesional en la Unión Europea y en España (Nota técnica de prevención 526). Madrid: INSST; 1999.

13. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). El ozono como desinfectante frente al SARS-CoV-2. Madrid: INSST; 2020.

14. Asociación Española de Normalización (UNE). UNE-EN 15251:2008. Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido. Madrid: UNE; 2008.

15. World Health Organization (WHO). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: WHO; 2021. ISBN 978-92-4-003422-8.

16. Wiegman CH, Li F, Ryffel B, Togbe D, Chung KF. Oxidative stress in ozone-induced chronic lung inflammation and emphysema: a facet of chronic obstructive pulmonary disease. *Front Immunol*. 2020;11:1957. doi:10.3389/fimmu.2020.01957.

17. Moss M, Norris PR, Jenkins J, et al. Long-term ozone exposure increases the risk of developing the acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2016;193(10):1143-1150. doi:10.1164/rccm.201507-1418OC.

18. Liu X, et al. Cardiorespiratory effects of indoor ozone exposure during sleep and the influencing factors: a prospective study among adults in China. *Sci Total Environ*. 2024. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.170290.

19. Lyu S, et al. Health effects of occupational exposure to printer emissions on workers in China: cardiopulmonary function change. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2021;225:112784. doi:10.1016/j.ecoenv.2021.112784.

20. Chen JH, Hu DT, Jia X, et al. Monitoring metrics for short-term exposure to ambient ozone and pulmonary function and airway inflammation in healthy young adults. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2020;52(3):492-499. doi:10.19723/j.issn.1671-167X.2020.03.015.