

ELABORACIÓN DE RECOMENDACIONES ASOCIADAS A LA CALIDAD DEL AIRE

Respuesta y desarrollo de la Medida 4 Info presente en el
Plan Nacional del Aire 2017-2019 (Plan Aire II)

Madrid, 27 de diciembre de 2019

ÍNDICE

TABLA DE ABREVIATURAS	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABLAS.....	4
1. Introducción.....	6
1.1. Objetivos	7
2. Problemática	9
2.1. Efectos nocivos para la salud	11
2.1.1. Efectos sobre la mortalidad	11
2.1.2. Efectos sobre el aparato respiratorio.....	12
2.1.3. Efectos sobre el aparato cardiovascular	12
2.1.4. Efectos sobre el sistema nervioso.....	13
2.1.5. Efectos sobre el sistema reproductivo.....	14
2.1.6. Otros posibles efectos	15
2.2. Grupos vulnerables y de riesgo	16
2.3. Costes económicos.....	18
3. Caracterización de la calidad del aire a través de diversos índices	21
3.1. Situación actual en España	22
3.1.1. Protocolos propios de Comunidades Autónomas	25
3.2. Índice de la Calidad del Aire	26
3.3. Índice Agregado de la Calidad del Aire	28
3.4. Índice de la Calidad del Aire y Salud	30
3.5. Comparación de índices y recomendaciones.....	34
4. Evaluación de la calidad del aire y recomendaciones asociadas para la salud en España..	36
4.1. Índice Europeo de la Calidad del Aire	36
4.2. Recomendaciones asociadas a la calidad del aire para España	38
5. Comunicación de recomendaciones para la salud	42
5.1. Página Web y App	43
5.2. Redes sociales y alertas	45
5.3. Medios de comunicación masivos	45
5.4. Sinergia con protocolos de contaminación y restricciones de tráfico.....	46
6. Cambio de hábitos	47
ANEXOS.....	49
ANEXO I	49
ANEXO II	51
A. Índice de la Calidad del Aire (AQI).....	51
B. Índice Agregado de la Calidad del Aire (AAQI).....	51
C. Índice de la Calidad del Aire y Salud (AQHI).....	52
Anexo III.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54

TABLA DE ABREVIATURAS

AAQI	Índice agregado de la calidad del aire
ADN	Ácido desoxirribonucleico
AQHI	Índice de la calidad del aire y salud
AQI	Índice de la calidad del aire
API	Índice de polución del aire
CO	Monóxido de carbono
COV	Compuesto orgánico volátil
EAQI	Índice Europeo de Calidad del Aire
EPOC	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
ER	Exceso de riesgo
GBD	Carga Mundial de la Morbilidad
IHME	Instituto para Medidas y Evaluación de la Salud
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MITECO	Ministerio para la Transición Ecológica
NO ₂	Dióxido de azufre
NO _x	Óxidos de nitrógeno
O ₃	Ozono
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OMS	Organización Mundial de la Salud
PIB	Producto Interior Bruto
PM	Material particulado
RR	Riesgo relativo
SO ₂	Dióxido de azufre
SO _x	Óxidos de azufre
UE	Unión Europea
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efectos adversos y enfermedades sobre los principales sistemas afectados influidas por la contaminación del aire exterior. Fuente: Elaboración propia en base a la información de Ruckerl et al. (2011).	15
Figura 2. Beneficios de la regulación de la contaminación atmosférica (1975) y costes de la contaminación restante sobre la salud pública	19
Figura 3. Costes directos e indirectos producidos por la contaminación del aire en el PIB de un país de la OECD	20
Figura 4. Número de superaciones de los valores límite (VL) y valores objetivo (VO) de cada contaminante por zona geográfica desde el 2012 al 2016	24
Figura 5. Esquema de los valores de AQHI y el riesgo para la salud asociado.....	33
Figura 6. Mapa interactivo de la EEA	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Reducción de las emisiones asumidas por España en comparación con los niveles del año 2005.....	23
Tabla 2. Calidad del aire y US AQI según la concentración de cada contaminante.....	27
Tabla 3. Mensajes y recomendaciones para la salud según la calidad del aire determinada por los AQI	29
Tabla 4. Recomendaciones para la salud según el nivel de riesgo calculado mediante el AQHI	32
Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de los índices de caracterización del aire	35
Tabla 6. Calidad del aire del EAQI según la concentración de cada contaminante.....	37
Tabla 7. Mensajes y recomendaciones para la salud según la calidad del aire determinada por los AQI	39
Tabla 8. Mensajes y recomendaciones para escuelas asociadas a la calidad del aire determinada por los AQI con el fin de proteger la salud de los niños.....	41

1.Introducción

La contaminación del aire representa un importante factor de riesgo para la salud, el séptimo según el IHME. La OMS estima que la contaminación atmosférica causa una media de 4,2 millones de muertes prematuras al año. En 2013, la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer clasificó el aire contaminado como agente carcinógeno. Además de aumentar la mortalidad y tasa de cáncer, también está relacionado con el desarrollo y/o empeoramiento de un alto número de enfermedades y problemas de salud.

El MITECO realiza periódicamente un informe de evaluación de la calidad del aire en el que expone los valores límites legislados para una amplia variedad de contaminantes. En su última actualización de 2017 se puede observar que, aunque las medidas aplicadas en los últimos años han conseguido mejorar la calidad del aire, hay una gran cantidad de zonas en las que se superan los niveles recomendados. Se ha observado que los niveles de contaminación y la superación de valores límites en España no constituyen un problema generalizado para todo el territorio. Sin embargo, existen zonas puntuales y localizadas en las que existen episodios de contaminación realmente problemáticos para la salud si se está expuesto.

Por ello, una de los proyectos futuros que se presentan dentro del Plan Nacional de Calidad del Aire 2017-2019 (Plan Aire II) es el establecimiento de recomendaciones para la salud asociadas a la calidad del aire. Este objetivo en concreto se enmarca en la **Medida 4 Info** del Plan Aire II y es el que se trata de desarrollar y responder en este documento. Para ello es necesario identificar, seleccionar y analizar la información disponible sobre el impacto de la calidad del aire sobre la salud.

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica de publicaciones científicas, así como de páginas web y documentos de organismos de relevancia. Para la búsqueda de artículos científicos se ha usado el buscador académico *Google Scholar* con los siguientes criterios:

- Artículos científicos de libre acceso.
- Publicados entre 2007 y 2017, fecha de redacción del Plan Aire II.
- Con un mínimo de 100 citas, para asegurar su relevancia científica.
- Relevantes para el tema estudiado en cuestión.

Para el grueso de la revisión, se han buscado en los títulos de los artículos términos como “air”, “pollution”, “quality” y “health” (aire, contaminación, calidad, salud). Por otra parte, se ha recurrido a documentos de organismos internacionales expertos en el tema a tratar. Finalmente, se han incluido artículos recientes de expertos en el tema que pudieran apuntar información importante.

Tras obtener una visión en profundidad del tema a tratar, se presenta la problemática relacionada con la exposición de la población a la contaminación del aire exterior. Otro punto importante del tema es caracterizar dicha contaminación de forma que puede ser medible y comparable. Sin un método para caracterizar la calidad del aire y su riesgo, no se pueden establecer una recomendaciones para la salud eficazmente, tal y como se persigue en dicha medida.

En resumen, se ha pretendido desarrollar una guía de acción, fundamentada en los puntos más importantes del tema, que pueda derivar en el establecimiento de recomendaciones significativas para mejorar la salud pública. Además, se ha tratado de aportar una contundente base para el mejor desarrollo de la **Medida 5 Info** del mismo Plan Aire II que complemente a esta medida y facilite el alcance de los objetivos perseguidos.

Sin embargo, no es suficiente el mero establecimiento de recomendaciones para la salud bien ajustadas a la calidad de aire exterior que se presenta. Para que esta medida cumpla sus objetivos es necesario que dichas recomendaciones se difundan correctamente lleguen a los diferentes grupos de la población a través de los canales adecuados.

1.1. Objetivos

Los objetivos generales que persigue esta medida son:

1. **Reducir el riesgo para la salud** de la población expuesta a la contaminación.
2. **Reducir la contaminación** a través del cambio de hábitos.

Con el fin de alcanzar estos objetivos generales, se han establecido unos objetivos específicos que permitan alcanzar los anteriores. Los objetivos específicos que pretende abarcar este documento son los siguientes:

1. **Mejorar el conocimiento de la población** sobre los efectos que provoca en su salud la exposición a altos niveles de contaminación atmosférica.
2. **Caracterizar la calidad del aire** en una determinada situación de una manera sencilla y comprensible por toda la población.
3. **Establecer recomendaciones para la salud** asociadas a la calidad del aire.
4. **Informar sobre los grupos de riesgo** que deban evitar, en mayor medida, la exposición a la contaminación del aire exterior.
5. **Difundir las recomendaciones** de manera eficaz para que llegue a la población y los grupos más vulnerables.

2. Problemática

La contaminación del aire exterior se define como una mezcla compleja que incluye numerosos elementos, como podría ser: material particulado (PM), ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), metano, compuestos orgánicos volátiles (COVs), metales, etc. Éstos pueden darse derivados de fuentes naturales y/o antropogénicas, siendo esta última la mayor causa de contaminación atmosférica. Diariamente, los seres humanos estamos en contacto con dichos elementos, los cuales pueden ingresar en nuestro organismo y provocar considerables daños para la salud. La OMS reconoció la contaminación del aire como un factor de riesgo para la salud humana y ha establecido una guía con los valores máximos que deben alcanzar los contaminantes más importantes de forma que no resulten nocivos para el hombre. Sin embargo, la última actualización de estas recomendaciones data de 2005 y, en los últimos años, se han realizado numerosos estudios que obligan a reconsiderarlas. Por ejemplo, se ha comprobado que no existe un umbral a partir del cual los elementos contaminantes no son un riesgo para la salud, tal y como asume la OMS. Desde el momento que aparecen, ya suponen una amenaza. Por ello, es necesaria una nueva evaluación de los contaminantes más perjudiciales y el establecimiento de recomendaciones actualizadas para disminuir la exposición de la población a dicho riesgo.

En la contaminación atmosférica destacan cuatro contaminantes dignos de un análisis específico respecto a su presencia y efecto en la salud: el material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Además, éstos son contaminantes que contribuyen en gran medida al cambio climático, que a su vez, afecta a las variables meteorológicas, como la humedad o la temperatura, que influyen en la determinación de los patrones de la calidad del aire exterior.

El material particulado de mayor interés incluye las **PM₁₀** y las **PM_{2.5}**, siendo el subíndice el máximo diámetro medio de las mismas. La procedencia de estas partículas es tan variada como su composición, ya que incluye todas las fuentes que generan pequeñas partículas que pasan a estar en suspensión en el aire. Se pueden constituir de compuestos sólidos y líquidos, orgánicos e inorgánicos, etc. Los principales compuestos que se encuentran en las PM con mayor frecuencia son los

sulfatos, nitratos, amonios, metales, dioxinas, sales y carbón negro. Este contaminante ha sido, con diferencia, el más estudiado a lo largo de la historia, debido a sus numerosos efectos adversos sobre la salud y procesos que los generan.

El **ozono** troposférico es un contaminante gaseoso secundario que se forma debido a reacciones fotoquímicas que incluyen al NO₂ y COVs, por lo que su mayor presencia se alcanza en las principales horas de sol en las estaciones cálidas del año. Su estudio se aconseja debido a los amplios problemas respiratorios a los que contribuye, su efecto independiente de otros contaminantes y su amplia distribución.

El **dióxido de nitrógeno** es el principal indicador de la contaminación por tráfico de vehículos, ya que resulta de la combustión de materiales fósiles. Es un compuesto tóxico de por sí, pero se puede encontrar asociado a las PM y otros contaminantes primarios. Su efecto adverso sobre la salud humana y su fuerte correlación con otros contaminantes lo convierten en un idóneo candidato para el estudio y valoración.

El **dióxido de azufre** es un contaminante gaseoso generado en los compuestos de combustión y el principal causante de la lluvia ácida. Históricamente, ha sido ampliamente analizado en estudios epidemiológicos, por lo que su toxicidad en el ser humano ha sido demostrada en profundidad. Por ello, ha sido prohibido en numerosos procesos industriales, y es de suma importancia su inclusión en los modelos y patrones de análisis de la calidad del aire atmosférico.

La inclusión de las recomendaciones para la salud, realizadas con anterioridad por numerosos organismos, ha demostrado la disminución de los problemas de salud derivados de la exposición a dichos contaminantes, tal y como muestran recientes estudios epidemiológicos. Sin embargo, el frecuente contacto con aire contaminado sigue suponiendo un grave riesgo para la salud. Por ello, es necesario conocer la información más reciente sobre los síntomas y enfermedades que provoca en el ser humano y los grupos que son más sensibles a la misma. De esta manera, se puede tratar de establecer un mejor análisis de la calidad del aire y unas recomendaciones para la salud pública más eficaces y eficientes.

2.1. Efectos nocivos para la salud

Como se ha comentado anteriormente, los principales contaminantes incluidos en la mayoría de estudios epidemiológicos han demostrado tener efectos adversos sobre la salud humana. Se ha conseguido establecer relaciones entre la calidad del aire y determinados perjuicios en diferentes sistemas del organismo (Figura 1). Sin embargo, estos contaminantes presentan interacción entre ellos y actúan juntos en muchas ocasiones. Por ello, es difícil relacionar la presencia y concentración de un determinado compuesto con un efecto específico y, aunque en varios casos ha sido posible, en muchos otros se habla de contaminación atmosférica en su conjunto.

2.1.1. Efectos sobre la mortalidad

En este caso, se estudia el efecto de la contaminación sobre la mortalidad general, por todas las causas, y específica, por causas respiratorias y cardiovasculares. Tanto en la exposición de corto como de largo plazo, se ha demostrado la asociación entre la contaminación del aire y la mortalidad. En concreto, se ha estudiado ampliamente la influencia de las PM, mostrando las más pequeñas un efecto retardado (3-7 días) respecto a su exposición.

La exposición aguda se ha relacionado principalmente con la mortalidad general. En este caso, los principales responsables son el material particulado más fino y los elementos asociados a ellas. Esto es debido a la alta penetración en los pulmones y el organismo de dichos contaminantes y el rápido efecto que provocan. Las maneras que tienen de afectar al organismo son sumamente amplias, por lo que es más complicado asociar la exposición aguda con un efecto específico de mortalidad.

Respecto a la exposición prolongada a esta contaminación, los estudios que contemplan el largo plazo también muestran una clara relación entre ésta y la mortalidad. Sin embargo, este tipo de exposición ha demostrado estar más relacionada con la mortalidad por efectos respiratorios y cardiovasculares que con la mortalidad general. Este hecho es debido a que las PM más grandes obturan las vías pulmonares en cuanto se está expuesto a ellas y agravan los brotes de enfermedades

respiratorias que pueden provocar la muerte. Por otra parte, las PM más pequeñas pasan al torrente sanguíneo y tardan más días en desencadenar el efecto que provoque la muerte por efecto cardiovascular.

2.1.2. Efectos sobre el aparato respiratorio

El primer riesgo evidente sobre la salud que se deriva de la exposición al aire contaminado es el que afecta al aparato respiratorio, ya que es la principal vía de entrada al organismo. La presencia de los cuatro contaminantes analizados ha mostrado un efecto significativo sobre las admisiones hospitalarias por problemas respiratorios debido a enfermedades del tracto respiratorio inferior, como bronquitis aguda, bronquiolitis y neumonía. En los episodios agudos de alta contaminación, se ha observado que la función de los pulmones disminuye notablemente, agravando enfermedades respiratorias como el asma y provocando síntomas como irritación de garganta, tos y disnea. Además, la exposición a altos niveles de NO₂ se ha relacionado con la ausencia escolar de niños debido a problemas respiratorios en los siguientes tres días a la exposición.

Las PM al depositarse en las vías respiratorias, producen un estrés oxidativo en los pulmones que lleva a su inflamación; resultando en fiebre, fibrosis, bronquitis, etc. A su vez, el estrés oxidativo contribuye a la carcinogénesis, por lo que la exposición prolongada a O₃ y metales presentes en las PM también provoca enfisema y cáncer pulmonar. El O₃ también inicia la inflamación pulmonar, mientras que el NO₂ incrementa la susceptibilidad de sufrir infecciones respiratorias. La exposición prolongada a esta contaminación se relaciona con el desarrollo de asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y la deficiencia de la función pulmonar permanente.

2.1.3. Efectos sobre el aparato cardiovascular

Aunque puede parecer intuitivamente que la contaminación del aire exterior afecta en mayor medida al aparato respiratorio, los estudios indican que el mayor riesgo atribuible para la salud ocurre en el aparato cardiovascular. Se ha comprobado que la

exposición aguda a la contaminación provoca una mayor hospitalización por infartos de miocardio y anginas de pecho, normalmente dos días después del episodio. Esto puede ser debido a la relación que se ha establecido entre la exposición de corto plazo y el aumento en la coagulación de la sangre y la obstrucción cardiaca de vasos sanguíneos. Además, la exposición a un ambiente contaminado por los compuestos analizados puede provocar síntomas como taquicardias, aumento de la presión sanguínea y anemia (debida a los metales presentes en las PM).

Estos contaminantes actúan oxidando lípidos y proteínas como generador de radicales libres, lo cual promueve el estrés oxidativo y respuestas inflamatorias. Los radicales libres también alteran las proteínas y el ADN, lo que puede derivar en cáncer y otras anomalías moleculares. Además, las pequeñas PM que pasan al sistema circulatorio pueden estimular la liberación de citoquinas y estimular receptores irritantes en todo el cuerpo. Respecto a la exposición prolongada a la contaminación atmosférica, se ha observado el aumento del estado de estrés oxidativo que provoca enfermedades cardiovasculares degenerativas, como la arteriosclerosis y ataques de corazón. Entre muchas otras correlaciones, se han establecido entre la exposición a largo plazo a la contaminación atmosférica y el daño en el tejido miocárdico (isquemia e hipertrofia), la calcificación de arterias coronarias, el síndrome coronario y la trombosis.

2.1.4. Efectos sobre el sistema nervioso

Los contaminantes pueden tener contacto con el sistema nervioso central de muchas maneras, pero la más común y peligrosa es tras su incorporación y contacto con el sistema nervioso central. No se trata del sistema más analizado en relación a la contaminación, pero los últimos estudios han generado que se investiguen los efectos de la contaminación en el mismo. Estos efectos nocivos suelen darse por los metales pesados que se encuentran asociados a las PM, ya que se han encontrado dichas partículas en el cerebro humano. Sin embargo, la alta presencia de O₃ y PM se han demostrado influyentes al generar inflamación y estrés oxidativo en el cerebro.

Se ha establecido una relación significativa entre la presencia de estos contaminantes en el aire y un descenso de funciones cognitivas y enfermedades neurodegenerativas. Algunas de estas enfermedades relacionadas con la contaminación del aire atmosférico son: las enfermedades de Alzheimer y Parkinson, el desarrollo defectuoso del sistema nervioso, las embolias y el riesgo de autismo. La neurotoxicidad provocada

por ellos ha resultado ser un factor de riesgo para desórdenes del sueño, fatiga, temblores, etc. Actualmente, se cree que el origen de ello sería la activación de la microglía por parte de las PM, amplificando su respuesta inflamatoria y generando daño celular. Las neuronas en sí mismas también se ven afectadas directamente por la contaminación atmosférica, llegando a internalizar las PM y causando lesiones en la materia blanca.

Aparte de la respiratoria, una vía de entrada de contaminantes al sistema nervioso es el epitelio olfativo, pudiendo causar daño en las neuronas sensitivas. Por ello, la pérdida de olfato es un síntoma muy común en las enfermedades de Alzheimer y Parkinson. Estos efectos neurotóxicos son específicos de la exposición, siendo tiempo y dosis dependiente. Además, el estrés psicosocial influye negativamente en las estas respuestas producidas o agravadas por la contaminación del aire.

2.1.5. Efectos sobre el sistema reproductivo

En 2005, la OMS ya añadió en su actualización de la “Guía de la calidad del aire” que existía una clara evidencia entre la exposición a aire contaminado por parte de la madre y efectos negativos durante el embarazo y desarrollo del neonato. Desde entonces, numerosos estudios han reforzado esta idea e identificado las causas y relaciones entre los dos elementos. Aunque el nacimiento prematuro no es un efecto adverso de por sí, está relacionado con la exposición a un ambiente contaminado, sobre todo en los primeros meses del embarazo.

Hay estudios epidemiológicos que relacionan el alto nivel de contaminantes en el aire con malformaciones del feto, crecimiento defectuoso o aborto espontáneo. Se sugiere que dichos efectos sean causa de la exposición a metales y dioxinas asociadas a PM y algunas de las cuales pueden transferirse a través de la placenta. También, se ha sugerido que dicha contaminación afecte a la calidad del esperma, ya que muchos de estos compuestos pueden funcionar como disruptores endocrinos y alterar la segregación de hormonas. Se ha comprobado que dicha alteración hormonal sí provoca restricción del crecimiento uterino. Sin embargo, son necesarios más análisis y diferentes modelos para poder asegurar estas afirmaciones. Un importante hecho, que sí se ha relacionado de manera contundente y aceptada, es la exposición al aire contaminado y la mortalidad infantil. Aunque sea complicado y tardío demostrar

algunos de los efectos relacionados con el sistema reproductivo, los que ya han sido demostrados son lo suficientemente importantes para tener en cuenta este punto.

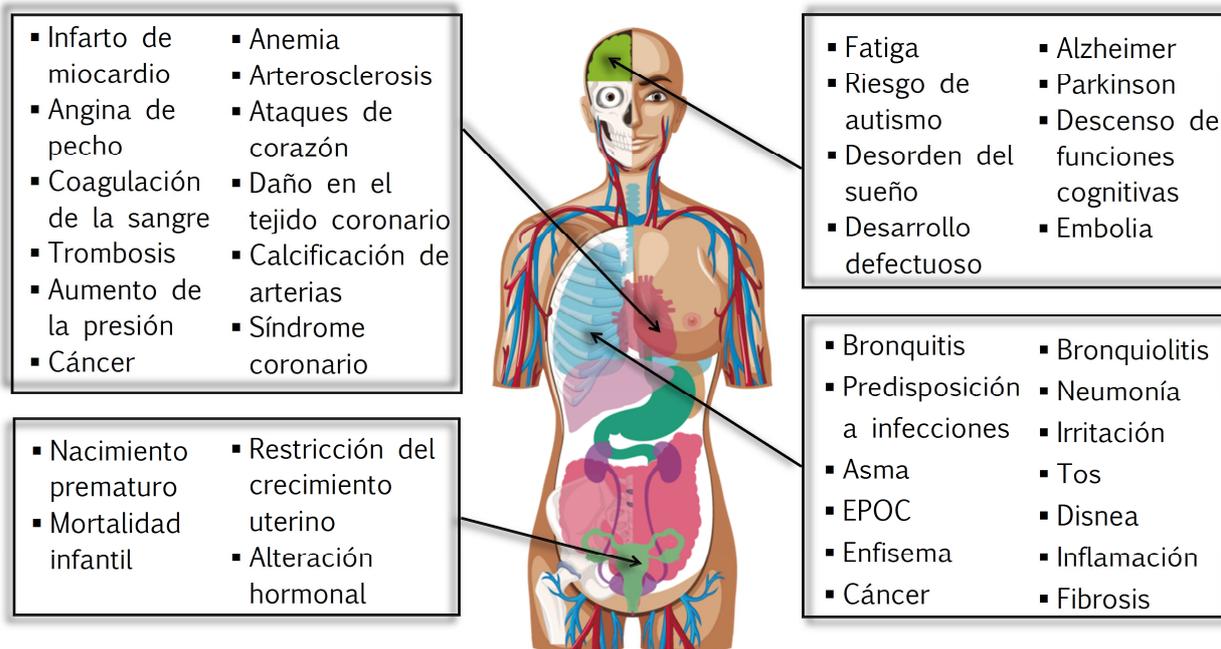


Figura 1. Efectos adversos y enfermedades sobre los principales sistemas afectados influidas por la contaminación del aire exterior. Fuente: Elaboración propia en base a la información de Rückerl et al. (2011).

2.1.6. Otros posibles efectos

Además de los efectos anteriormente comentados, se han sugerido otros relacionados con la exposición a un ambiente contaminado. Por ejemplo, los metales asociados a PM pueden producir daño en los riñones. Aunque son necesarios más estudios, hay evidencias para considerar relevante el papel de la contaminación atmosférica en la disfunción tubular, descenso de la filtración, riesgo de formación de piedras de riñón y cáncer renal.

Por otra parte, las dioxinas presentes en las PM provocan daño celular y cáncer en el hígado. Asimismo, se ha relacionado dicha exposición con el aumento de la coagulación y el daño endotelial que puede provocar en prácticamente cualquier parte del organismo. Como se ha visto, las dos principales respuestas orgánicas al contacto con contaminantes son la inflamación y el estrés oxidativo. Estos efectos se producen, en gran medida, por la alteración de la respuesta natural del sistema inmunitario y son

los que conducen a la mayoría de las complicaciones ilustradas en la Figura 1. Sin embargo, la exposición a la contaminación del aire también provoca alteraciones propias del sistema inmunitario. Por ejemplo, se asocia esta exposición con el desarrollo de una gran cantidad de alergias. Aun así, todos estos efectos deben ser consolidados con estudios más recientes que contemplen las nuevas técnicas de análisis e información.

2.2. Grupos vulnerables y de riesgo

Dentro de la población general, existen grupos de personas que pueden sufrir en mayor medida los efectos de la contaminación atmosférica. Esta susceptibilidad a los contaminantes puede venir dada por modificaciones genéticas de las que no observamos consecuencias. A pesar de ello, podemos identificar grupos de riesgos bien caracterizados y analizados a los que la contaminación le afecta de una manera específica o a menor concentración. Por ello, es importante dirigir recomendaciones específicas a estos individuos para tratar de evitar o atenuar el riesgo añadido sobre su salud que presenta la exposición al aire contaminado.

Según la edad se pueden identificar dos grupos de riesgo más vulnerables que el resto a los altos niveles de contaminación. Principalmente, **los niños** presentan un mayor riesgo, ya que sus órganos no están completamente desarrollados y sus sistemas de defensa no están maduros. Además, su tasa de respiración por minuto es mayor y pasan más tiempo expuestos al aire exterior y realizando actividades más vigorosas. En particular, es importante reducir su riesgo a desarrollar o agravar algún efecto adverso para la salud, ya que puede condicionar su etapa adulta. Además de lo anteriormente estudiado para la población general, se ha conseguido relacionar la exposición a los contaminantes estudiados con el desarrollo en niños de enfermedades como asma, infecciones respiratorias, alergias, eccemas, rinitis aguda y la exacerbación de enfermedades respiratorias crónicas y sensibilización. También, se ha demostrado que los niños tienen un mayor riesgo de sufrir un peor comportamiento neuronal y desarrollo neurofisiológico al estar expuestos a la contaminación en sus primeros años de vida. Por otra parte, **las personas mayores** (>65 años) también se consideran grupos de riesgo, ya que sus órganos están más deteriorados y son más vulnerables. Aunque en este caso es más complicado atribuir el efecto de la exposición a la contaminación del aire, debido a los numerosos factores que han

influido sobre la salud, se ha conseguido relacionar dicha exposición con la mayor incidencia de las enfermedades anteriormente mencionadas.

Respecto a los **individuos con enfermedades respiratorias y cardiovasculares**, la correlación entre la exposición a una mala calidad del aire y la exacerbación de los efectos adversos de las mismas ha sido ampliamente contrastada. Por lo tanto, se deben considerar como casos de riesgo a aquellos individuos que sufran déficits respiratorios (asma, EPOC, etc.), problemas cardiovasculares (arteriosclerosis, fallos cardíacos, anginas, etc.) e incluso diabetes y obesidad.

Como se ha podido comprobar, la exposición a altos niveles de contaminantes atmosféricos es considerablemente más problemática en el caso de **las embarazadas**. El riesgo se agrava tanto para la madre como para la prole. En las madres porque se encuentran en un momento de vulnerabilidad durante el embarazo, y en la descendencia porque pueden sufrir el impacto de los mismos y desarrollar algún efecto adverso.

Un último caso de grupos vulnerables, que ha sido ampliamente estudiado, es el **de las personas con un bajo nivel socioeconómico**. Se han encontrado numerosos estudios que relacionan esta condición con un mayor riesgo de sufrir efectos adversos provocados por la contaminación atmosférica. Los individuos incluidos en este grupo pueden además presentar un menor nivel educativo y un peor acceso a la sanidad. Asimismo, el bajo nivel económico conlleva a tener una peor nutrición y una vivienda en barrios industriales con peor calidad del aire. Sin duda, todo ello ha demostrado ser influyente en el riesgo para la salud que puedan tener los individuos de estos colectivos.

Sin embargo, la consideración del nivel socioeconómico de un individuo como factor de riesgo se trata un punto muy sensible. Además, para las personas afectadas es complicado saber en qué nivel socioeconómico se encuentran, y las recomendaciones para la salud que se hagan hacia este colectivo pueden no alcanzar al público deseado de manera eficiente. Por ello, se recomienda a los profesionales sanitarios y educativos la identificación de dichos individuos y una mayor implicación y divulgación de las recomendaciones para la salud sobre ellos. Por ejemplo, es necesario recalcar la importancia de una buena nutrición alta en antioxidantes y vitaminas que puedan contrarrestar el estrés oxidativo e inflamación que se ha comprobado que provoca la exposición a la contaminación atmosférica.

También se sabe que la actividad física provoca que la incidencia de la contaminación del aire en la salud sea mayor, ya que la tasa de respiración es mayor y el organismo incorpora más compuestos. Dichas razones son unas de las que provocan que la exposición al aire contaminado sea más peligrosa para **trabajadores que desempeñen trabajos físicos en el exterior**. Por ello, es importante considerar como vulnerable a este grupo para que puedan minimizar su riesgo.

En resumen, los grupos de riesgo e individuos más vulnerables deben considerar los términos y la exposición al aire exterior contaminado en mayor medida que la población general. Esto es debido a que pueden sufrir efectos adversos sobre la salud a niveles más bajos de contaminantes y de manera más severa. Por lo tanto, es necesario considerar a estos colectivos de una manera específica y diferente de la población general. Se deben establecer determinadas recomendaciones para la salud más sensibles para ellos. Se consideran grupos de riesgo o individuos vulnerables a:

- Los niños (0-13 años).
- Las personas mayores (>65 años).
- Las embarazadas.
- Los individuos con problemas respiratorios y cardiovasculares.
- Los diabéticos.
- Las personas con sobrepeso y obesidad.
- Las personas con bajo nivel socioeconómico.
- Las personas que realizan habitualmente trabajos físicos en el exterior.

2.3. Costes económicos

Adicionalmente a los indudables beneficios que tiene sobre la salud el establecimiento de recomendaciones basadas en la calidad del aire, el ahorro económico también es significativo. El establecimiento de las medidas y recomendaciones necesarias para disminuir el efecto de la contaminación atmosférica sobre la salud pública puede suponer una inversión económica inicial considerable. Sin embargo, numerosos estudios de países e instituciones han comprobado su eficiencia y rentabilidad a medio plazo.

Un estudio del MIT analizó el coste neto que provocaba la contaminación atmosférica para el Estado. Este tipo de estudios considera: (i) los gastos del sistema nacional de salud en la cura o el tratamiento del efecto adverso provocado por la contaminación,

(ii) las horas de trabajo perdidas debido a ellos, (iii) la disminución del consumo en el tiempo libre y (iv) otros factores relacionados. Específicamente, en este trabajo se analiza el coste de la contaminación del aire exterior desde el 1970 al 2000 y la variación de la tendencia desde la aplicación de medidas en 1975. Se estima que el beneficio arrojado por estas medidas al Estado se encuentra entre los 50.000 y 400.000 mil millones de dólares estadounidenses de 1997 (lo que serían de 80.000 a 633.000 mil millones de dólares actuales). En la Figura 2 se puede observar el coste de la contaminación y el beneficio provocado por las medidas adoptadas y las recomendaciones en materia de salud. Se observa un ligero aumento en el coste de la contaminación, pero no es debido a que aumente la misma, sino a que la población y el sueldo que reciben aumentan con el tiempo. Por ello, **el coste económico de la contaminación es mayor conforme pasan los años.**

Un trabajo similar se realizó por parte del Banco Mundial en China en 1997, en el que se estimó que el efecto de la contaminación en la salud pública provocaba un coste para el Estado de 80.000 mil millones de dólares actuales por año (un 7.1% del producto interior bruto del país en ese año).

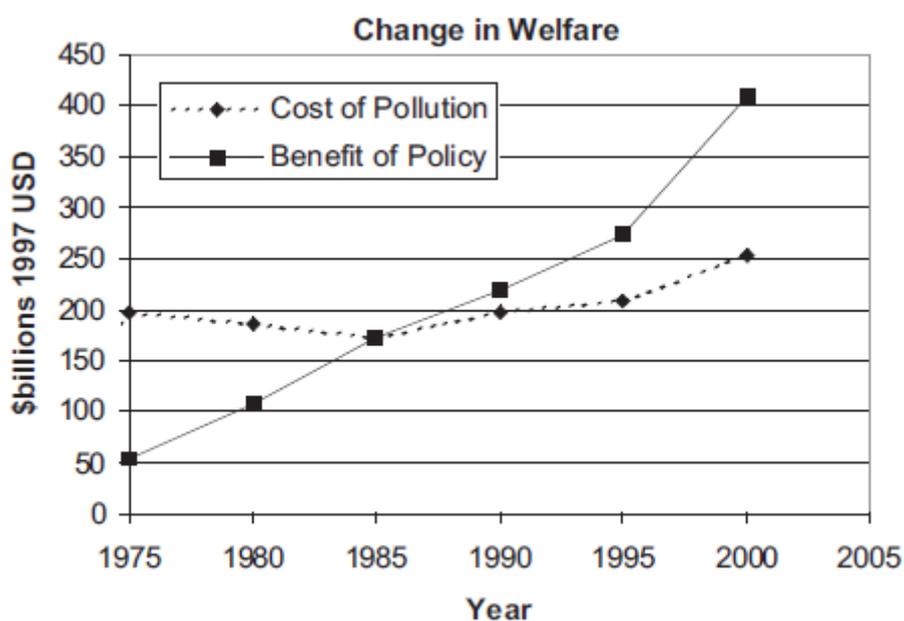


Figura 2. Beneficios de la regulación de la contaminación atmosférica (1975) y costes de la contaminación restante sobre la salud pública. *Fuente:* Yang et al. 2005.

Teniendo en cuenta estudios más recientes, la OECD publicó en 2016 un estudio en el que recoge las consecuencias económicas de la contaminación atmosférica y su variación respecto a políticas ambientales. En él se puede observar la situación actual y estimada para el futuro, si no se aplican políticas eficientes, de los costes directos

(productividad laboral, gasto en salud y rendimiento agrícola) e indirectos (factores de producción, comercio internacional y bancario y cambios en precios) de la contaminación del aire. En la Figura 3 se puede observar cómo el coste económico puede pasar del 0,3% del PIB actual de media en cada país de la OECD al 1% en 2060. De igual forma, se puede observar cómo los efectos directos permanecen estables a lo largo del tiempo, pero los indirectos son cada vez más gravosos.

En términos absolutos, el Banco Mundial estima la pérdida actual en más de 5,11 trillones de dólares por la contaminación atmosférica, sobre los 1.245 billones de dólares en Europa. Entre sus factores destaca la pérdida laboral por mortalidad prematura de unos 225 billones de dólares. Dicha pérdida correspondía a 162 billones de dólares en 1990, por lo que se hace evidente que el coste de la contaminación aumenta conforme avanza el tiempo.

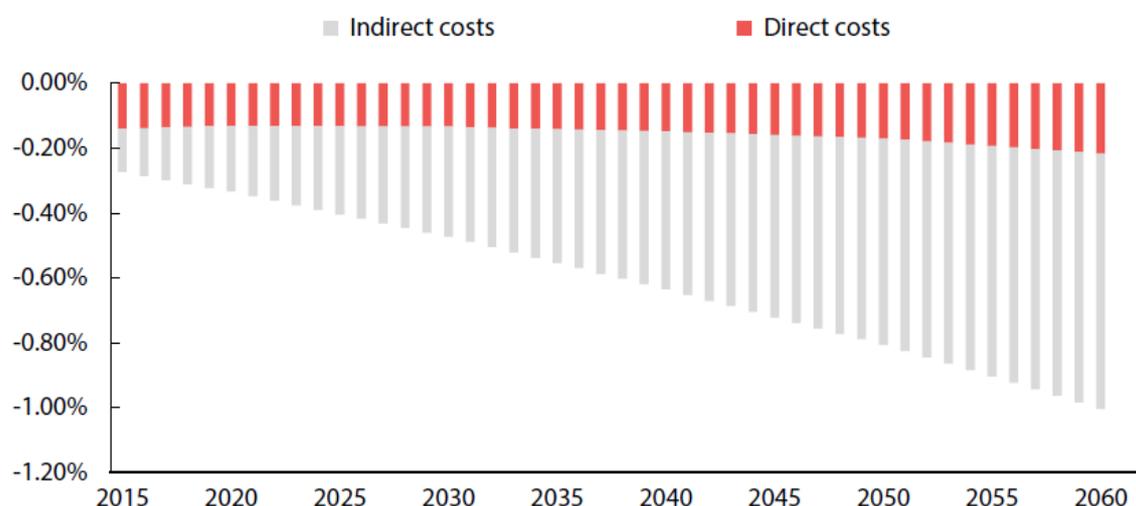


Figura 3. Costes directos e indirectos producidos por la contaminación del aire en el PIB de un país de la OECD. *Fuente:* OECD, 2016.

Además de los evidentes beneficios para la salud pública y el medio ambiente, la reducción de la contaminación y la exposición de la población a ella tiene una significativa relevancia económica. Por mucho que pueda parecer un problema exclusivo de determinados países, el impacto de la contaminación en esas zonas acaba afectando de manera global. Sin embargo, las necesidades y hábitos de cada población son diferentes a lo largo del planeta. Por todo ello, es necesario tomar tanto medidas enfocadas a la población española en particular, tal como la disminución de su exposición a la contaminación, como políticas generales que ayuden a disminuir los niveles de contaminación a nivel global.

3. Caracterización de la calidad del aire a través de diversos índices

El primer paso para elegir los mensajes que se van a ofrecer a la población es determinar la calidad del aire exterior de una manera comprensible y comparable, para adaptar las recomendaciones al riesgo que se pueda sufrir en caso de incumplirlas. Para ello, se usan diferentes índices que dividen la calidad del aire en grupos a los que se les asignan mensajes, advertencias y recomendaciones para la población.

Existen tres niveles de intervención para reducir el impacto de la contaminación ambiental en la salud humana: primario, secundario y terciario. El nivel primario, y el más efectivo, es la reducción de la emisión contaminantes y está más asociado con la exposición a largo plazo. El nivel secundario, del que nos ocupamos en este apartado, es la prevención de la exposición excesiva de la población a la alta contaminación. Finalmente, el nivel terciario se corresponde con el control de enfermedades que se puedan ver agravadas o desatar brotes agudos debido a la exposición. Éste último está también muy relacionado con la prevención a la exposición por parte de los grupos de riesgo, algo que tienen en cuenta la mayoría de los índices calculados.

Se ha comprobado que el cálculo de estos índices, con sus niveles de alerta y la difusión de los mensajes que los acompañan, influye en el comportamiento de la población. Aunque el índice se calcula en una escala continua, la atención se centra en los grupos categóricos que se establecen y sus mensajes asociados. La comunicación de esta información de manera masiva y a través de la formación de profesionales sanitarios se ha mostrado relevante en la disminución de la exposición de la población a la contaminación, sobre todo en los grupos de riesgo.

3.1. Situación actual en España

La situación de la calidad del aire en España es preocupante desde hace mucho tiempo y se ha legislado con base a ello, pero es recomendable una actualización de los niveles de contaminantes que dan lugar a las alertas por mala calidad del aire según los últimos estudios sobre su impacto en la salud humana. De igual manera, las diferentes organizaciones internacionales de la salud asocian mensajes y recomendaciones a estos niveles y alertas para disminuir, además de la contaminación, la exposición de la población a la misma y reducir su impacto en la salud poblacional.

La legislación vigente en España se recoge en el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire; en el que se transpone la normativa europea en vigor: la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa y La Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente. Además, en el ámbito nacional se encuentra la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, de 16 de noviembre de 2007 en la que se recogen los principios esenciales en materia de prevención, vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica.

Este marco normativo no tiene en cuenta el cálculo de ningún índice de calidad del aire, sólo se basa en la concentración de contaminantes en el aire atmosférico. Los niveles permitidos por esta legislación son los siguientes:

- SO_2 → No podrá superarse en más de 24 ocasiones al año los $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora o en más de 3 los $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por día. La alerta por este contaminante se dará cuando superen tres horas consecutivas los $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora. La OMS recomienda no superar los $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora o los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media por día.
- NO_2 → No podrá superarse en más de 18 ocasiones al año los $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora o los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual. En este caso, los valores se ajustan a las recomendaciones de la OMS. La alerta por este contaminante se dará cuando superen tres horas consecutivas los $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora.

- $PM_{2.5}$ → No podrán superarse los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual. Sin embargo, la OMS recomienda no superar los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual o los $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por día.
- O_3 → No se establecen valores límites, sino objetivos a largo plazo. Este valor se trata de no superar más de 25 días al año en un promedio de 3 años los $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por ocho horas. Este valor se encuentra por encima de los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por ocho horas que recomienda no superar la OMS. El umbral de información por altos niveles de ozono es de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora y el de alerta de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora.

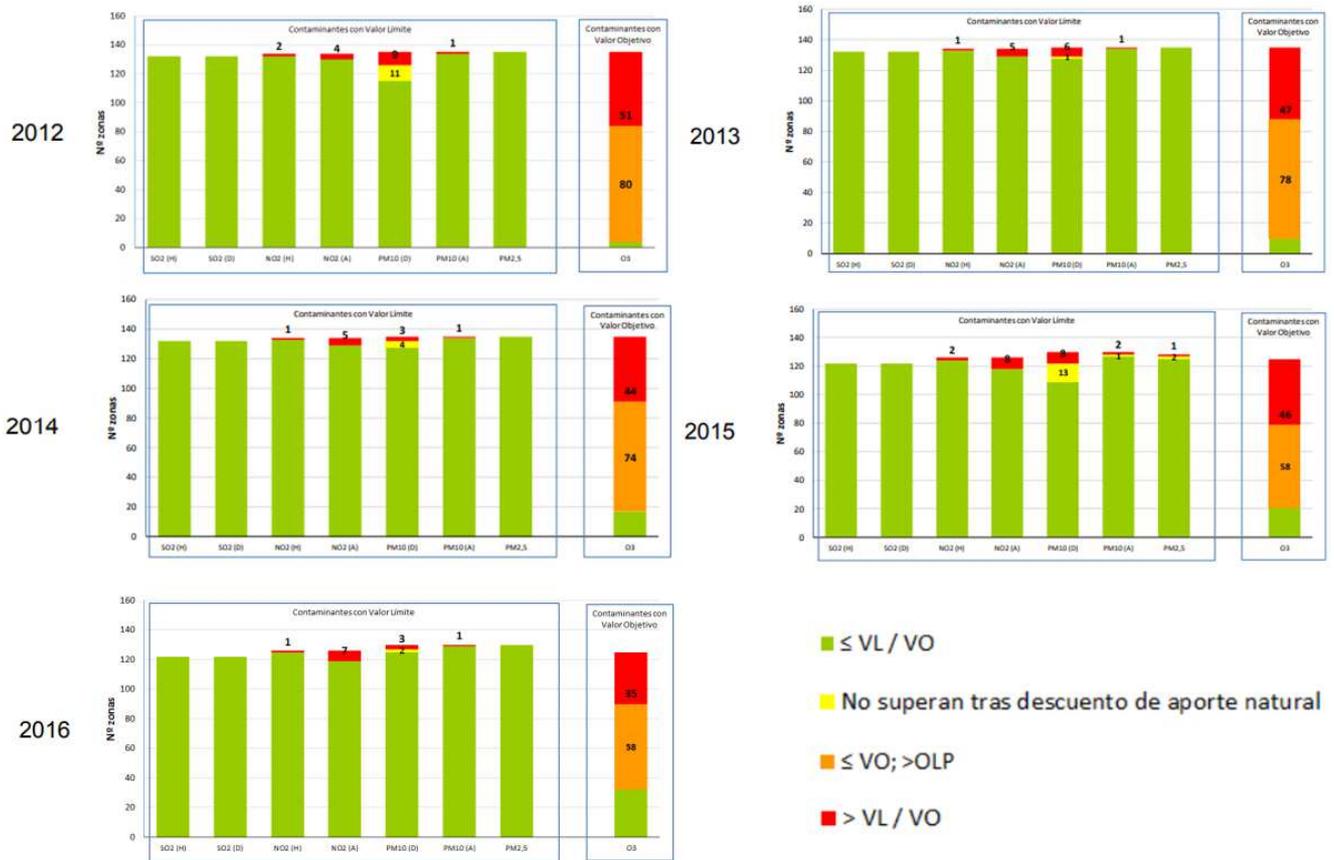
Además, según la Directiva (UE) 2016/2284 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de diciembre de 2016 relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, España se ha comprometido a reducir los contaminantes en los siguientes años en la proporción que se indica en la Tabla 1.

Contaminante	Para cualquier año entre 2020 y 2029	Para cualquier año a partir de 2030
SO₂	67%	88%
NO_x	41%	62%
COV	22%	39%
NH₃	3%	16%
PM_{2.5}	15%	50%

Tabla 1. Reducción de las emisiones asumidas por España en comparación con los niveles del año 2005. *Fuente:* Elaboración propia en base a la información del Plan Nacional de Calidad del Aire 2017-2019.

Como se puede observar, la legislación actual sólo tiene en cuenta las concentraciones de los contaminantes presentes en la atmósfera. Sin embargo, esto no tiene en cuenta la sinergia y combinación entre ellos y cómo afecta ésta a la calidad del aire y, por tanto, a la salud humana. Esta aproximación a través de los niveles de los compuestos por separado minusvalora su impacto y evita la proclamación de alertas en momentos en los que la situación es peligrosa para la salud (Figura 4). De esta manera es muy complicado que las recomendaciones para los grupos de riesgo y la población general que persiguen proteger su salud se vean correctamente difundidas y tengan un fuerte impacto en la sociedad.

Por ello, la línea que están siguiendo los organismos internacionales y los últimos estudios científicos se centra en el desarrollo de índices que permitan valorar de forma conjunta los contaminantes atmosféricos para determinar una calidad del aire y su impacto en la salud humana. A estos índices, como se verá más adelante, es sencillo asociarles unas recomendaciones para la salud según el nivel de alerta en el que se encuentre. Gracias a este panorama, existen diferentes Comunidades Autónomas que han desarrollado su propio índice de calidad del aire y protocolos de actuación, así como recomendaciones para aplicar en momentos de una calidad del aire peligrosa



para la salud de la población.

Figura 4. Número de superaciones de los valores límite (VL) y valores objetivo (VO) de cada contaminante por zona geográfica desde el 2012 al 2016. *Fuente:* Plan Nacional de Calidad del Aire 2017-2019.

3.1.1. Protocolos propios de Comunidades Autónomas

Algunas Comunidades Autónomas han establecido otros protocolos de evaluación, puesto que el método que se basa únicamente en los valores límite de los contaminantes por separado no se muestra eficaz para evaluar la calidad del aire y difundir recomendaciones que cambien los hábitos de la población y reduzcan su exposición.

Muchas de ellas han elaborado específicamente un Plan de calidad del aire o de mejora de calidad del aire con el fin de atajar directamente esta cuestión, mientras que otras la incluyen en otros temas más amplios, como el cambio climático, pero realizan una exhaustiva vigilancia. En el Anexo I se pueden comprobar las Comunidades Autónomas que disponen de Plan y/o que realizan un seguimiento de la calidad del aire, las cuales son 16 de las 19 Comunidades y Ciudades Autónomas. Además, en muchas de ellas encontramos unas medidas y un seguimiento específico de ciertas zonas dentro de su territorio, lo que afina más el resultado.

Sin embargo, cabe destacar que la manera en la que clasifican la calidad del aire difiere en la mayoría de ellas. Aunque todas ellas utilizan los valores límite determinados por el 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire; la manera en que agrupan el impacto de los contaminantes en su conjunto es distinta. Se encuentran desde las clasificaciones más sencillas con 3 categorías que dependen exclusivamente del porcentaje del valor límite al que se encuentre cada contaminante, hasta aquellas con 5 categorías cuyo valor se calcula de manera conjunta para todos los contaminantes. En el Anexo I se puede observar que algunas Comunidades Autónomas, como Cataluña o las Islas Baleares, incluso han desarrollado su propio índice de calidad del aire para acercarse al máximo esta clasificación a la situación real de multicontaminantes.

Como se ha comentado anteriormente, las Comunidades también han considerado que el uso de un índice que permita valorar de una manera realista, clara y sencilla la situación de la calidad del aire es fundamental para el desarrollo de medidas que la mejoren. Además, esta clasificación es esencial para el posterior desarrollo de un Plan de calidad del aire que ofrezca medidas y recomendaciones concretas para cada categoría y pueda, como resultado final, disminuir el impacto que tiene sobre la salud humana.

La cuestión actual se centra en el cálculo del índice más propicio para las condiciones de cada región y sus habitantes. La elección del método y los contaminantes registrados, así como de los mensajes y recomendaciones, puede ser significativa en la manera en que la población responda a dicha información. Los siguientes índices son los más utilizados actualmente pero, al tratarse de un tema de investigación constante, se siguen creando nuevos métodos y/o adaptando otros a las necesidades de cada región.

3.2. Índice de la Calidad del Aire

El Índice de la Calidad del Aire (AQI, por sus siglas en inglés) ha sido el método más utilizado a lo largo del tiempo para caracterizar la calidad del aire ambiental. Este índice fue desarrollado en primer lugar por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA), con el objetivo de avisar cómo de limpio o insano era el aire en una determinada zona y tiempo. Se propuso esta alternativa ya que, para la población general, es difícil relacionar las concentraciones de un contaminante con la calidad del aire. De esta manera, se podían deducir fácilmente los riesgos para la salud de grupos poblacionales y hacerles llegar recomendaciones adecuadas para reducirlo.

El AQI se trata de una escala numérica que comprende desde el 0 al 500, siendo el 0 el nivel más sano y el 500 el más perjudicial para la salud. En esta escala encontramos cinco rangos de calidad del aire y sus mensajes y recomendaciones para la salud asociados a cada uno. Para delimitar dichos rangos, se compara el índice calculado y el estándar que haya determinado el organismo competente. Los contaminantes que se tienen en cuenta para este análisis son: el ozono (O_3), el dióxido de nitrógeno (NO_2), las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ y, si es posible, el dióxido de azufre (SO_2). Se calcula un AQI para cada uno de los contaminantes y se comprueba con los estándares en qué nivel de calidad se encuentra cada uno. En la Tabla 2 encontramos los rangos que determina la US EPA según los estándares de concentraciones que han determinado para su país y el nivel de calidad del aire asociado a los AQI calculados para cada contaminante. Por último, se elige el más preocupante de estos niveles de calidad y se envían los mensajes y recomendaciones asociadas que rigen para el contaminante que ha provocado ese nivel. En la Tabla 3 se pueden observar los mensajes y recomendaciones que se hacen a la población según el nivel de

calidad de aire que se haya determinado gracias a los AQI. Estos mensajes son específicos del contaminante que haya provocado la definición de la calidad del aire.

Tabla 2. Calidad del aire y US AQI según la concentración de cada contaminante.

Fuente: Elaboración propia en base a información de U.S. EPA (2014).

Calidad del aire (AQI)	O ₃ (µg/m ³ por hora)	NO ₂ (µg/m ³ por hora)	PM ₁₀ (µg/m ³ por día)	PM _{2,5} (µg/m ³ por día)	SO ₂ (µg/m ³ por hora)
Buena (0-50)	-	0-99	0-54	0-12	0-92
Moderada (51-100)	-	100-188	55-154	12,1-35,4	93-196
Insana para grupos sensibles (101-150)	245-322	189-676	155-254	35,5-55,4	197-485
Insana (151-200)	323-399	676-1220	255-354	55,5-150,4	486-891
Muy insana (201-300)	400-792	1221-2348	355-424	150,5-250,4	892-1582
Peligrosa (301-500)	>793	>2350	>425	>250,5	>1583

El AQI se calcula teniendo en cuenta la concentración del contaminante y la categoría en la que se incluye según su efecto en la salud. En el punto A del Anexo II se puede observar más detalladamente el cálculo de este índice. Al hacerse este cálculo para cada contaminante por separado, el AQI no recoge el efecto aditivos de múltiples contaminantes sobre la salud; lo cual no concuerda con una situación real. También es criticado por no reflejar la relación lineal sin umbrales que existe entre la concentración de los contaminantes y los riesgos para la salud humana. Por ello, cuando se dan situaciones en que múltiples contaminantes están presentes en concentraciones significativas, el AQI subestima el riesgo de la contaminación en la salud. Por otra parte, el cálculo de estos índices no suele incorporar concentraciones medias del contaminante en un corto periodo, por lo que no reflejan la situación actual.

Además, la elección de estándares puede afectar a la evaluación del riesgo y la viabilidad del sistema de información. Se deduce así que este método no tiene en cuenta el carácter endémico de los efectos de la contaminación, por lo que los estándares deberían ajustarse a la misma zona en la que se miden los contaminantes.

Se estima que el 90% de las afecciones relacionadas con la contaminación atmosférica se dan en días definidos como buenos o muy buenos, según este AQI.

Las ventajas y la sencillez de este índice para calcular la calidad del aire atmosférico es lo que lo ha hecho tan popular que diversas instituciones, como China (API) o Europa (EAQI), han desarrollado índices similares basados en este método aunque con diferentes estándares. Sin embargo, las limitaciones y desventajas que hemos mencionado hacen que se siga investigando en mejorarlo y obtener nuevos índices más adaptados a las necesidades actuales que solventen dichos inconvenientes.

3.3. Índice Agregado de la Calidad del Aire

El Índice Agregado de la Calidad del Aire (AAQI, por sus siglas en inglés) trata de solventar la limitación del AQI de no considerar situaciones de multicontaminantes. Para ello, tiene en cuenta el efecto combinado de los contaminantes seleccionados. La escala que usa este método también es de 0 a 500, para que sea más sencillo compararla con el AQI tradicional. El cálculo es completamente semejante al AQI anterior, salvo que incluye una constante de relación entre contaminantes (ρ), por lo que siempre va a ser mayor que él. Cuanto mayor sea la ρ , menos relación habrá entre todos los contaminantes. En el punto B del Anexo II podemos observar más detalladamente el cálculo de este índice y la influencia de la constante ρ .

Tabla 3. Mensajes y recomendaciones para la salud según la calidad del aire determinada por los AQI. *Fuente:* Elaboración propia con base a información de U.S. EPA (2014).

Calidad del aire	Preocupación para la salud	Acciones en altos niveles de O ₃	Acciones en altos niveles de PM	Acciones en altos niveles de so ₂
Buena	Calidad del aire satisfactoria, la contaminación no ofrece apenas riesgo para la salud.	No se requieren.	No se requieren.	No se requieren.
Moderada	Calidad del aire aceptable, aunque algunos contaminantes pueden suponer un ligero riesgo para la salud de los grupos de riesgo e individuos sensibles a la polución.	Las personas sensibles deben considerar reducir el esfuerzo prolongado o activo en exteriores.	Las personas sensibles deben considerar reducir el esfuerzo prolongado o activo en exteriores.	No se requieren.
Insana para grupos de riesgo	Los miembros de los grupos de riesgo pueden experimentar efectos para la salud, pero la población general no se ve afectada.	La población con problemas respiratorios, trabajos activos de exterior, los niños y las personas mayores deben reducir el esfuerzo prolongado o activo en exteriores.	La población con problemas respiratorios, los niños y las personas mayores deben reducir el esfuerzo prolongado o activo en exteriores.	Las personas asmáticas deben considerar reducir el esfuerzo en exteriores.
Insana	Toda la población puede experimentar efectos sobre la salud y los grupos de riesgo efectos mucho más serios.	La población con problemas respiratorios, trabajos activos de exterior, los niños y las personas mayores deben evitar el esfuerzo prolongado o activo en exteriores. La población general debe limitar el esfuerzo prolongado en exteriores.	La población con problemas respiratorios, los niños y las personas mayores deben evitar el esfuerzo prolongado o activo en exteriores. La población general debe limitar el esfuerzo prolongado en exteriores.	Los niños, asmáticos y la población con problemas respiratorios y cardiovasculares deben reducir el esfuerzo en exteriores.
Muy insana	Toda la población puede verse seriamente afectada.	La población con problemas respiratorios, trabajos activos de exterior, los niños y las personas mayores deben evitar el esfuerzo en exteriores. La población general debe limitar el esfuerzo en exteriores.	La población con problemas respiratorios, los niños y las personas mayores deben evitar el esfuerzo en exteriores. La población general debe limitar el esfuerzo en exteriores.	Los niños, asmáticos y la población con problemas respiratorios y cardiovasculares deben evitar el esfuerzo en exteriores. Toda la población debe reducir el esfuerzo en exteriores.

Aunque se considera un índice más real que el AQI al analizar las situaciones con más de un contaminante, el cálculo de la constante p sigue sin dilucidarse. La elección de la misma afecta en gran medida al valor final del índice y, además, esta constante sería diferente según las regiones analizadas. Esto puede hacer que se sobrestime el riesgo existente en una situación determinada. Actualmente, al tratar de mejorar la principal desventaja del AQI, se ha perdido la sencillez y claridad de sus cálculos. Por lo tanto, aún no se considera suficiente para distinguir los riesgos en la salud según las condiciones de contaminación atmosférica.

3.4. Índice de la Calidad del Aire y Salud

El Índice de la Calidad del Aire y Salud (AQHI, por sus siglas en inglés) fue creado en primer lugar por las instituciones canadienses *Health Canada* y *Environment Canada*, con el fin de reforzar las debilidades de los sistemas anteriores y mantener sus principales características positivas. La diferencia de concepto entre este método y los anteriores es que el AQI y el AAQI muestran la calidad del aire, mientras que el AQHI revela el riesgo para la salud humana que provoca la exposición a ese ambiente. Este índice se trata de un sistema que usa la información que hay sobre la relación exposición-respuesta para generar una escala de riesgo fácilmente comprensible por todos.

El AQHI tiene en cuenta los efectos de los contaminantes para la salud humana con base a factores de riesgo conocidos, estableciendo grupos vulnerables. Este índice se mide en una escala entre 0 y 10, siendo el 0 el menor riesgo y los valores por encima de 10 el riesgo extremo. Una vez que se tiene el valor del índice, se dividen en cuatro niveles de riesgo para la salud pública y se asocian unas recomendaciones a cada nivel para tratar de evitar esos riesgos. En la Tabla 4 se pueden observar estas características y cómo los mensajes arrojados son claramente diferenciados para la población general y para los grupos de riesgo.

Este índice se calcula teniendo en cuenta datos de la mortalidad, incluso morbilidad, que se relaciona con la exposición a estos contaminantes. En el AQHI se establece una relación entre la concentración del contaminante y el efecto sobre la salud humana que sirve para calcular el riesgo relativo de estar expuesto a un contaminante a una determinada concentración. Con estos riesgos relativos de cada contaminante se calcula el riesgo total

que existe si un individuo (vulnerable o no) se encuentra expuesto a un aire atmosférico contaminado. En el punto C del Anexo II se detalla el cálculo de este índice y el coeficiente generado a partir de los datos epidemiológicos de riesgo para la salud.

Tabla 4. Recomendaciones para la salud según el nivel de riesgo calculado mediante el AQHI. *Fuente:* Elaboración propia en base a la información de Abelsohn and Stieb (2011).

Nivel de riesgo	Valor AQHI	Recomendaciones para la salud	
		Grupos de riesgo	Población general
Bajo	0-3	Disfruta de tus actividades en el exterior de manera normal. Sigue las indicaciones de tu doctor para el ejercicio activo.	Condiciones ideales para actividades en el exterior.
Moderado	4-6	Si tienes problemas respiratorios o cardiovasculares y experimentas síntomas, considera reducir la actividad física en el exterior o posponlas hasta que el índice sea menor. Sigue las indicaciones de tu médico sobre cómo controlar tu condición.	No hay necesidad de modificar tus actividades normales en el exterior.
Alto	7-10	Los niños, ancianos y gente con problemas respiratorios o cardiovasculares deben reducir o posponer las actividades físicas en el exterior, especialmente si experimentas síntomas. Si tienes problemas respiratorios o cardiovasculares, sigue las indicaciones de tu médico sobre cómo controlar tu condición.	Si sufres malestar, tos o irritación de garganta deberías considerar reducir o posponer las actividades físicas en el exterior hasta que el nivel de riesgo sea menor.
Muy alto	>10	Los niños, ancianos y gente con problemas respiratorios o cardiovasculares deben evitar las actividades físicas en el exterior. Si tienes problemas respiratorios o cardiovasculares, sigue las indicaciones de tu médico sobre cómo controlar tu condición.	Toda la población debe reducir o posponer las actividades físicas en el exterior hasta que el nivel de riesgo sea menor, especialmente si experimentas síntomas.

La principal ventaja de dicho índice frente a los anteriores, es que contempla en un mismo modelo todos los contaminantes que puedan estar presentes en una situación determinada. Este hecho lo hace mucho más realista que el AQI, ya que es prácticamente improbable que se den situaciones de contaminación por un solo factor o que éste sea representativo del resto. Además, los datos que utiliza para determinar la respuesta de la salud humana a la exposición a la contaminación atmosférica se tratan de datos de mortalidad y morbilidad. Esto hace que el índice pueda ser específico de una zona, ya que dichos datos se pueden obtener de manera regionales. Otra característica de este cálculo es que tiene en cuenta la contaminación media a corto plazo, aportando así una visión más correcta del momento actual.

Encontramos otras propiedades favorables del AQHI, como puede ser que no hay umbral a partir del cual se considere adversa la presencia de un contaminante en el aire exterior. Se ha comprobado que estos contaminantes analizados tienen efectos en la salud desde el momento en que aparecen a una baja concentración, por lo que determinar una concentración a partir de la cual considerar su efecto sería subestimarlos. Finalmente, podemos comprobar en la Figura 5 que, al ser una escala decimal, los valores utilizados por este método resultan más familiares para la población. Este hecho influye significativamente en la transmisión de la información y en el rápido aprendizaje de las recomendaciones cuando se conoce el riesgo y el valor.



Figura 5. Esquema de los valores de AQHI y el riesgo para la salud asociado.

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del índice a partir de la mortalidad y morbilidad que se relacionan con la exposición a estos contaminantes también puede tener desventajas. Por ejemplo, muchos efectos en la salud por parte de la polución se presentan con un desfase temporal desde la exposición; por lo que se puede subestimar el efecto de éstos. El impacto en la salud también varía en función de si la estación es cálida o fría, por lo que las advertencias deben refinarse según la época del año. Al depender de la asociación de la concentración del contaminante con el efecto de la salud humana, el AQHI puede no registrar pequeños cambios en el riesgo. Además, este índice presupone una relación lineal de todos los

contaminantes, por lo que considera que el efecto producido por la presencia de todos ellos es aditivo y no tiene en cuenta posibles efectos de sinergia o antagonismo.

3.5. Comparación de índices y recomendaciones

Cada uno de los índices mencionados, y otros muchos que se derivan de los mismos, tienen diferentes ventajas e inconvenientes, tal y como se resume en la Tabla 5. El conocimiento de estas características de los diferentes índices es de suma importancia, ya que de su elección se pueden derivar diferentes mensajes y maneras de comunicar con la población.

También, se debe tener en cuenta las condiciones habituales de la calidad del aire en la zona a estudiar y el impacto histórico que ha tenido sobre una población determinada. Por ejemplo, en los días más insanos con contaminación por varios contaminantes el AQHI va a ser mayor que el AQI y más cercano a la situación real. En las ciudades con gran contaminación y en estaciones frías, el AQI probablemente subestime la situación de riesgo en la que se encuentre la población. Sin embargo, el AQHI puede ser influido por otros factores que afecten a los parámetros que se utilizan para calcularlos, como puede verse en las zonas que sufren de numerosos casos de gripe. En los periodos sanos, todos van a ser prácticamente iguales, aunque la transmisión de información no es tan importante en estos días. Por otro lado, el AQHI suele estar un nivel por encima del AQI, lo cual puede ser contraproducente si no se quiere alarmar a la población con mayor frecuencia hasta que acaben volviéndose insensibles a estas alertas.

Una vez expuestos los puntos fuertes y débiles de cada método, se puede evaluar la capacidad de mejora y adaptación de cada uno. Para el estado actual de España, que se recoge en el Plan Nacional de Calidad del Aire 2017-2019 (Plan Aire II), sería conveniente adoptar un método sencillo y comparable como el AQI. Entre sus mayores intereses para la situación española, se encuentra el poder ser ajustable a los nuevos cambios que se puedan dar en un campo en evolución como el de la calidad del aire atmosférico. Aunque no sea un método tan realista como el AQHI, puede llegar a ser de carácter conservador para un exceso de recelo en la protección de la salud pública. Sin embargo, la posibilidad de caracterizar cambios en la calidad de aire a corto plazo favorece la difusión y la toma de medidas inmediatas que protejan la salud al instante. Además, con vistas a un futuro próximo, permitiría realizar predicciones robustas que posibiliten adoptar protocolos de alta

contaminación. En el siguiente apartado, se detallan las ventajas de adoptar un AQI y las maneras en las que se puede mejorar y adaptar a la realidad en España.

Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de los índices de caracterización del aire.

Fuente: Elaboración propia.

Índice	Ventajas	Inconvenientes
AQI	Sencillez de cálculo.	No tiene en cuenta situaciones con varios contaminantes ni las interacciones entre ellos.
	Evaluación de la calidad del aire.	No considera la relación lineal de los contaminantes con la respuesta.
	Fácilmente comparable y unificable entre territorios.	Tiene umbrales a partir de los cuales no considera el efecto adverso de los contaminantes.
	Predicciones robustas para los siguientes días.	Estándares no específicos de zonas específicas.
	Versatilidad y ajustable para ser más o menos conservador.	No incluye concentraciones medias del contaminante a corto plazo.
AAQI	Considera el efecto combinado de contaminantes.	Su cálculo es complicado y no se ha establecido cómo obtener su constante de relación entre contaminantes.
	Evaluación de la calidad del aire.	No considera la relación lineal de los contaminantes con la respuesta.
		Tiene umbrales a partir de los cuales no considera el efecto adverso de los contaminantes.
	Predicciones robustas para los siguientes días.	Estándares no específicos de zonas determinadas.
No incluye concentraciones medias del contaminante a corto plazo.		
AQHI	Evaluación del riesgo para la salud.	Desfase temporal de la respuesta respecto a la exposición.
	Considera el efecto combinado de contaminantes.	Varía según la estación del año.
	Específico de zonas determinadas.	No registra pequeños cambios en la contaminación.
	Considera la relación lineal entre contaminación y respuesta desde el momento que aparece.	Sólo considera la interacción lineal entre contaminantes.
	Incluye concentraciones del contaminante a corto plazo.	Influido por otras respuestas similares sobre la salud que no son debidas a la contaminación atmosférica.
	Escala familiar y comprensible.	Puede ser alarmante.

4. Evaluación de la calidad del aire y recomendaciones asociadas para la salud en España

Una vez se analizados los principales índices de evaluación de la calidad del aire y las recomendaciones para la salud de los diferentes grupos poblacionales, es posible establecer un método común para toda España. Como se ha visto, en primer lugar se debe elegir un índice para caracterizar la calidad del aire y, con base a éste, asociar consejos para disminuir la exposición y el riesgo para la salud de la población.

4.1. Índice Europeo de la Calidad del Aire

La Comisión Europea ha desarrollado su propio índice para caracterizar la calidad del aire atmosférico. El Índice Europeo de la Calidad del Aire (EAQI) se calcula mediante el mismo procedimiento que el US AQI, pero los niveles de contaminantes elegidos para la determinación de los estándares son los establecidos en la normativa europea. Por ello, comparando la Tabla 6 con la Tabla 2, se puede observar que, aunque sean dos AQI semejantes, los valores de corte del EAQI son considerablemente más bajos que el US AQI. Esto quiere decir que, para la misma concentración de un contaminante en aire, en Europa se considera que la calidad del aire es algo peor que lo considerado por los Estados Unidos. Estos estándares más restrictivos permiten solventar una de las principales desventajas del AQI, en el que una gran parte de los efectos para la salud se daban en condiciones de calidad del aire buena o moderada, que supuestamente no eran peligrosas.

Tabla 6. Calidad del aire del EAQI según la concentración de cada contaminante.

Fuente: Elaboración propia en base a información de European Commission (2016).

Calidad del aire	O₃ (µg/m ³ por hora)	NO₂ (µg/m ³ por hora)	PM₁₀ (µg/m ³ por día)	PM_{2.5} (µg/m ³ por día)	SO₂ (µg/m ³ por hora)
Buena	0-80	0-40	0-20	0-10	0-100
Justa	81-120	41-100	21-35	11-20	101-200
Moderada	121-180	101-200	36-50	21-25	201-350
Mala	181-240	201-400	51-100	26-50	351-500
Muy mala	>240	>400	>100	>50	>500

Como se ha detallado anteriormente, los niveles máximos de contaminantes que se recogen en la legislación española han sido traspuestos de la normativa europea. Por ello, se considera conveniente adoptar en España el mismo sistema de evaluación de calidad del aire que se lleva a cabo en la Unión Europea, ya que se consideran unos valores realistas con los que perseguir los objetivos comunes de desarrollo sostenible.

Además, el EAQI no otorga tanta importancia al cálculo de un valor entre 0 y 500 para la determinación de la calidad del aire, ya que se basa directamente en los valores de los contaminantes y otorga la clasificación más preocupante que presente cualquiera de los compuestos. Esto hecho hace que el EAQI sea fácilmente adaptable en la situación estatal española, en la que actualmente también se consideran solamente los niveles de cada contaminante.

Una última razón por la que utilización del EAQI es recomendable para España es porque permite una comparación sencilla y muy visual de la calidad del aire en diferentes zonas de todo el continente. La Comisión Europea dispone de mapas interactivos que se actualizan cada hora con los últimos registros de las estaciones de control. Por ello, tanto la vigilancia y difusión de la información como las nuevas medidas que se tomen en esta dirección serán fácilmente incorporables si se dispone de un método común. Por lo tanto, en España se

recomienda el uso del mismo sistema de clasificaciones, nomenclatura y código de colores para simplificar esta tarea.

4.2. Recomendaciones asociadas a la calidad del aire para España

Al haber adaptado el EAQI para la situación española, es posible asociarle a cada categoría las recomendaciones pertinentes dirigidas a la población para proteger su salud de los riesgos derivados de la contaminación atmosférica. En la Tabla 7 se muestran estos mensajes que indican claramente la situación del aire respecto a la salud y las recomendaciones destinadas a los grupos de riesgo y la población general. Éstas sí que deben ser específicas del país donde se van a difundir, ya que se ha de tener en cuenta la situación de su población (de riesgo y general), el sistema sanitario, la comunicación y recepción de mensajes y otros factores característicos. Dichas recomendaciones son directas y fácilmente comprensibles, favoreciendo su difusión y entendimiento por toda la población. Se tratan de mensajes cortos enfocados a la preocupación principal sobre la salud e intuitivamente asociados a la categoría de calidad del aire y, sobre todo, al color del que van acompañadas las alertas.

Tabla 7. Mensajes y recomendaciones para la salud según la calidad del aire determinada por los AQI. *Fuente:* Elaboración propia.

Calidad del aire	Mensajes para la salud	Recomendaciones para la salud	
		Grupos de riesgo y personas sensibles	Población general
Buena	Calidad del aire satisfactoria, la contaminación no supone un riesgo para la salud.	Disfruta tus actividades en el exterior de manera normal.	Disfruta tus actividades en el exterior de manera normal.
Justa	Calidad del aire aceptable, aunque algunos contaminantes pueden suponer un ligero riesgo para la salud de los <i>grupos de riesgo e individuos sensibles</i> a la polución.	Considera reducir las actividades prolongadas y activas en exterior. No es peligroso estar en el exterior, pero toma más descansos y disminuye la intensidad de la actividad.	Vigila la aparición de síntomas como tos o falta de aire y, si aparecen, considera reducir la exposición prolongada o activa en el exterior.
Moderada	La calidad del aire probablemente no afecte a la población general pero puede presentar un riesgo moderado para los <i>grupos de riesgo</i> .	Reduce las actividades prolongadas y activas en el exterior. Las <i>personas con asma o enfermedades respiratorias</i> deben seguir cuidadosamente su plan de medicación y usar su inhalador más frecuentemente. Los <i>adultos con problemas del corazón</i> pueden experimentar palpitaciones, dificultad en la respiración o fatiga inusual; si ocurre, busca asistencia médica.	Vigila la aparición de síntomas como tos, irritación de garganta, falta de aire, fatiga excesiva o palpitaciones. Si aparecen, reduce las actividades prolongadas y activas en el exterior.
Mala	<i>Toda la población</i> puede experimentar efectos sobre la salud y los <i>grupos de riesgo</i> efectos mucho más serios.	Evita las actividades prolongadas y activas en el exterior, considerar realizarlas en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o justa. Sigue el plan de tratamiento meticulosamente.	Reduce las actividades prolongadas y activas en el exterior, especialmente si experimentas tos, falta de aire o irritación de garganta.
Muy mala	Condiciones de emergencia para la salud pública , la población entera puede verse seriamente afectada.	Evita toda actividad física en el exterior y considerar realizar las actividades en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o justa. Sigue el plan de tratamiento meticulosamente.	Evita toda actividad física en el exterior y considera realizar las actividades en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o justa.

Las recomendaciones anteriormente descritas tienen como objetivo asegurar que la población se proteja de los riesgos para la salud, que sean primordiales en cada momento. Es decir, si ocurre una situación particular o se experimentan los efectos agudos más graves, tanto la población como los servicios sanitarios, poseen la formación adecuada para responder a ello.

Por otra parte, un grupo de riesgo fácilmente controlable, pero que no puede realizar determinadas acciones por sí mismo, son los niños. En España la escolarización es obligatoria entre los 6 y 16 años, aunque en la mayoría de los casos los niños entre 3 y 18 años pasan gran parte del día en alguna institución educativa. Como se ha explicado, el impacto de la calidad del aire sobre el organismo en desarrollo de los niños y adolescentes es mayor que para el resto. Por lo tanto, se considera pertinente el establecimiento de recomendaciones específicas a dichas escuelas y demás instituciones para que protejan la salud de su alumnado con unas sencillas modificaciones de su actividad habitual.

Respecto a la capacidad que tiene el EAQI de ser utilizado en las predicciones sobre la calidad del aire para un determinado día, se pueden asociar estas alertas con el sistema Copernicus. Esta herramienta de la Unión Europea es la encargada de realizar predicciones sobre la contaminación que se va observar ese mismo día, por lo que los encargados educativos o los receptores de alertas específicas pueden consultar dicha predicción y adaptarse a las recomendaciones expuestas en la Tabla 8.

Esta situación respalda la perspectiva de futuro correspondiente a la implantación de medidas o un Plan específico de calidad del aire que difunda las alertas y recomendaciones explicadas a instituciones que puedan facilitar, directa o indirectamente, la protección de la salud poblacional. Otra perspectiva a considerar se basa en la medida que se toman en ciertas zonas de Estados Unidos, donde las clases son suspendidas cuando el valor del US AQI, o su predicción para ese día, se encuentra por encima de los 275 puntos. De esta manera, se previene a la población de una exposición peligrosa para su salud y se reducen los desplazamientos y el tráfico, mejorando así los niveles de contaminación.

Tabla 8. Mensajes y recomendaciones para escuelas asociadas a la calidad del aire determinada por los AQI con el fin de proteger la salud de los niños. *Fuente:* Elaboración propia en base a la información de Sonoma County (2018).

Acciones recomendadas en escuelas para proteger la salud de los niños

Calidad del aire	Recreos y pausas	Educación Física	Entrenamiento deportivo	Eventos deportivos
Buena	No se requieren.	No se requieren.	No se requieren.	No se requieren.
Justa	Asegurar que los individuos sensibles y enfermos controlan médicamente su condición.	Asegurar que los individuos sensibles y enfermos controlan médicamente su condición.	Asegurar que los individuos sensibles y enfermos controlan médicamente su condición.	Asegurar que los individuos sensibles y enfermos controlan médicamente su condición.
Moderada	La comida y los recreos en interiores se deben recomendar para alumnos de instituto. Obligatorio para alumnos de educación primaria y preescolar.	Reducir los esfuerzos físicos en exterior a 30 minutos por hora. Se recomienda trasladarlos a interiores o modificarlos.	Reducir los esfuerzos físicos en exterior a 30 minutos por hora aumentando la frecuencia de recesos y sustituciones. Se recomienda trasladarlos a interiores o modificarlos.	Incrementar los descansos, tiempos entre eventos y las sustituciones, como en los protocolos de calor extremo. Se recomienda trasladarlos a interiores o modificarlos.
Mala	Todas las actividades deben ser trasladadas a interiores, tanto y como sea posible.	Todas las actividades deben ser trasladadas a interiores, tanto y como sea posible.	Todas las actividades deben ser trasladadas a interiores, tanto y como sea posible.	Todos los eventos deben ser reprogramados o cambiar de localización.
Muy mala	No debe haber actividades en exteriores, las actividades deben ser trasladadas a interiores.	No debe haber actividades en exteriores, las actividades deben ser trasladadas a interiores.	No debe haber actividades en exteriores, las actividades deben ser trasladadas a interiores.	Todos los eventos deben ser reprogramados o cambiar de localización.

5. Comunicación de recomendaciones para la salud

Como se ha visto, el establecimiento de un índice como estándar para medir de la calidad del aire es necesario si el objetivo es transmitir a la población unos mensajes que consigan reducir el riesgo para su salud. Dichas recomendaciones deben de ser sencillas y concretas para que sean fácilmente transmitidas y establecidas en la sociedad. De esta manera, cualquier individuo podrá recordar las recomendaciones básicas asociadas al nivel que corresponda en cada momento.

Esta información debe adaptarse para estar dirigida a:

- El público general que tenga interés en la calidad del aire, ya sea en su ciudad o predicciones en otra zona.
- Individuos que se encuentren dentro de los grupos de riesgo y deban estar más alerta del riesgo del aire sobre su salud.
- Gente que quiera cambiar sus hábitos para reducir el impacto de la contaminación.
- Grupos ambientales y profesionales sanitarios que trabajen con esta información.
- Investigadores y académicos que quieran ahondar más en este ámbito.
- Políticos y legisladores que puedan establecer medidas que afecten a la calidad del aire.
- Instituciones de las que dependa la posibilidad de proteger a un grupo considerable de la población, como las empresas o escuelas.

Es importante establecer unos símbolos básicos dentro de toda esta información para que, una vez vistos, se puedan deducir y relacionar fácilmente con las recomendaciones asociadas a esos símbolos. En el caso de España, la escala de colores es la más adecuada para la difusión del índice seleccionado, ya que la población está familiarizada con ella desde la infancia y es ampliamente utilizada en otros ámbitos, como por ejemplo en los semáforos. Además, los códigos de colores, ayudan a comprender el nivel de riesgo, ya que están tradicionalmente asociados a categoría semejantes. Por ello, en cualquier medio de

comunicación, debería mostrarse como mínimo la categoría de calidad y el color de ella, de los cuales se derivan fácilmente sus recomendaciones asociadas.

En el Anexo III se puede encontrar una infografía que incluye los principales aspectos mencionados. Los mensajes claros asociados a una categoría y color determinados pueden ser eficazmente difundidos a través de este documento. Sin embargo, cada canal de comunicación es diferente y debe adaptarse a él e incluir cualquier posible mejora.

5.1. Página Web y App

Actualmente, una de las maneras más directas y con mayor potencial para contactar con la población son las páginas webs y las aplicaciones móviles. El desarrollo y difusión de ambas es necesario para establecer satisfactoriamente las recomendaciones para la salud en la sociedad. Además, son las plataformas que más información y herramientas interactivas pueden incluir y permiten consultar la información en cualquier momento. Los apartados en las mismas pueden ser todo lo diversos que se deseen y ajustarse a la zona y el periodo temporal deseado.

La página web diseñada para albergar esta información debe ser fácilmente rastreable, es decir, no encontrarse en una complicada ruta dentro de la página web de otro organismo. Además, debe ser: fácilmente navegable, potente en el rendimiento para procesar la alta demanda en días con alto riesgo, sencilla para incorporar nuevas funciones y funcional a largo plazo.

El cuerpo principal de la misma debe:

- Presentar los datos más actuales en un mapa interactivo.
- Permitir filtrar por comunidad autónoma y provincia.
- Permitir filtrar por segmentos temporales, para ver tendencias y predicciones (≈3 días).
- Presentar la escala de colores y las categorías de riesgo.
- Permitir clicar/pulsar sobre una zona del mapa para revelar las recomendaciones asociadas y resúmenes anuales y tendencias.
- Permitir la visualización de datos sin necesidad de descarga.
- Incluir mapas y datos descargables para su uso en investigación y análisis.

Se pueden incluir mapas y predicciones del clima para aunar todos los datos y atraer a más usuarios de manera más asidua. Al haber elegido el EAQI como referencia, se puede utilizar la plataforma que utiliza la EEA para interactuar con las diferentes estaciones y mostrar el contaminante que ha provocado ese nivel de calidad (Figura 6). Además, se recomienda que haya un apartado en el que se encuentren las medidas más relevantes y al alcance de todos que se pueden adoptar para disminuir la contaminación atmosférica. Asimismo, sería conveniente añadir los síntomas más comunes que puede causar la exposición a una mala calidad del aire y las enfermedades que pueden agravar en los grupos de riesgo. También es altamente recomendable incluir un sencillo juego interactivo que ayude a los niños a aprender las recomendaciones para la salud y el sistema de símbolos.

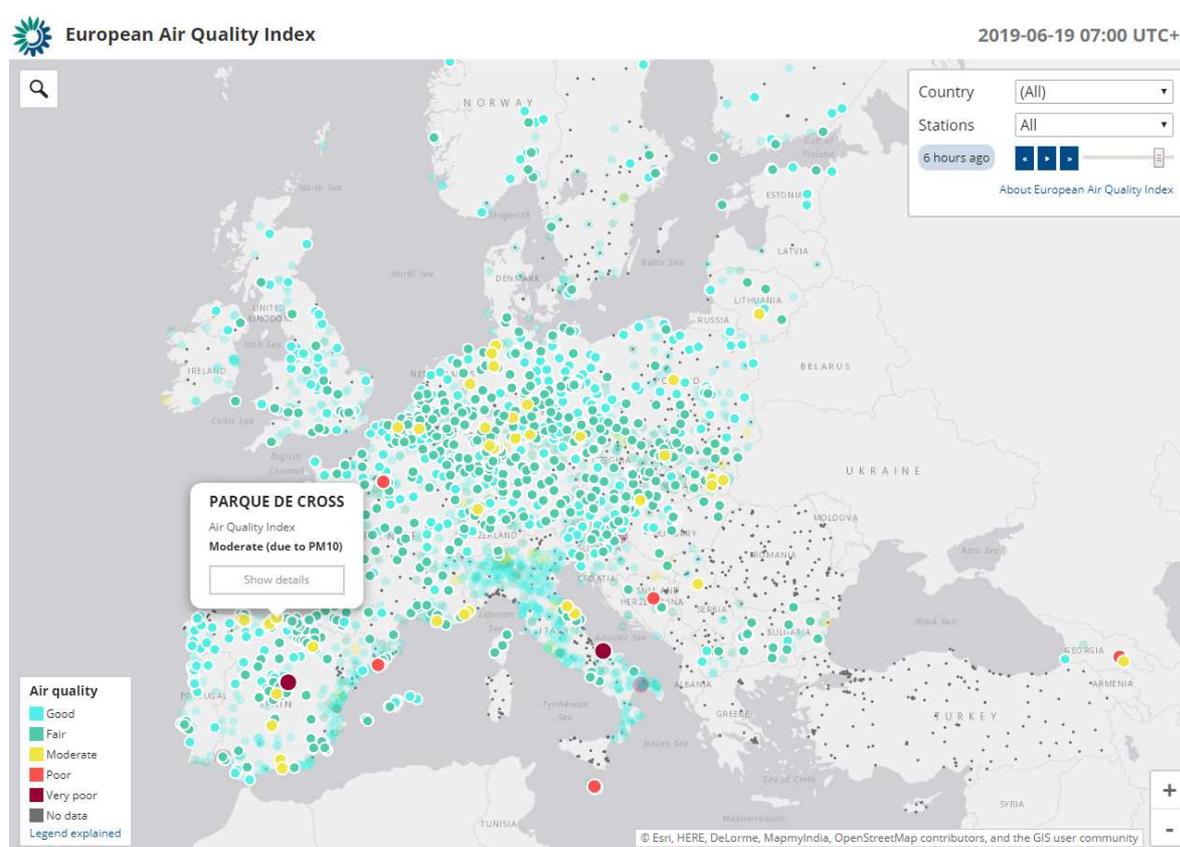


Figura 6. Mapa interactivo de la EEA. *Fuente:* airindex.eea.europa.eu.

5.2. Redes sociales y alertas

Los mensajes lanzados a través de redes sociales llegan a un gran público en todo momento y pueden afectar en mayor medida a la variación de sus actividades propuestas en las recomendaciones. Por otra parte, se puede establecer un sistema de alertas en el que los usuarios se puedan dar de alta y recibir un mensaje de texto o correo electrónico con los avisos pertinentes de ese día o cuando la calidad del aire en su zona pase a niveles preocupantes para la salud.

En estos casos, bastaría con incluir la calidad del aire actual y un resumen de las recomendaciones asociadas. Junto a esto, debe adjuntarse el link que derive a la página web o aplicación móvil donde ampliar la información. Además, en el caso de redes sociales, se puede adjuntar el mapa de España con los colores del nivel de calidad del aire en el que se encuentre cada estación y zona en ese mismo día.

5.3. Medios de comunicación masivos

Los medios de comunicación masivos, como la televisión o la radio, han sido tradicionalmente los principales canales para la comunicación de información actualizada. En ellos se puede emitir la situación de la calidad del aire en el país o zonas y las recomendaciones que sean pertinentes en cada momento. En estos casos, se puede mantener actualizada la información varias veces al día y mostrar tendencias que puedan ser preocupantes, así como las medidas que se están tomando para mejorar la situación. Además, este canal puede ser especialmente útil a la hora de informar sobre los individuos más vulnerables en este aspecto, permitiendo que todos los individuos sepan si se encuentran en un grupo de riesgo o no.

5.4. Sinergia con protocolos de contaminación y restricciones de tráfico

Indudablemente, las recomendaciones emitidas en situaciones de calidad del aire peligrosa para la salud están relacionadas con los diferentes protocolos de contaminación y de restricciones de tráfico. Por ejemplo, en el “Protocolo de actuación para episodios de contaminación por dióxido de nitrógeno en la ciudad de Madrid” se encuentran algunas recomendaciones generales para la salud.

Estos protocolos y las restricciones de determinados vehículos al tráfico rodado son temas de alto calado en la población y que influyen en una gran cantidad de personas. Los comunicados de dichos protocolos y restricciones son seguidos por un numeroso público, ya que pueden alterar sus hábitos diarios.

Por todo ello, sería conveniente asociar las recomendaciones para la salud que se establezcan tras esta medida con los anuncios de la aplicación de protocolos de contaminación y tráfico. De esta manera, dichas recomendaciones alcanzarían a un mayor número de personas, ya que sus redes de información están desarrolladas y son muy amplias. Entre otros, podemos encontrar espacios en televisión, periódicos y radio reservados para la comunicación de esta información. Al estar tan relacionados, se podrían incluir sin ningún problema las recomendaciones para la salud y serían mejor incorporadas por la población. Para mayor simplificación y eficacia, también se podría establecer una equivalencia o unificar entre los escenarios de los protocolos y los niveles de los índices de calidad del aire.

6. Cambio de hábitos

La exitosa comunicación de las recomendaciones establecidas con base a la calidad del aire y el riesgo para la salud persiguen un objetivo principal: cambiar los hábitos de la población para reducir tanto la contaminación atmosférica como su exposición a la misma. Por ello, se sugieren diversas actuaciones que la población puede incorporar en su vida diaria para mejorar estos dos aspectos.

Los principales hábitos que la población puede cambiar para reducir los niveles de contaminación del aire se centran en los medios de transporte, ya que son la principal fuente de contaminantes en las ciudades, junto a las calefacciones de los edificios. En este ámbito, utilizar el **transporte público** es esencial para reducir la cantidad de vehículos que circulan por las calles, disminuyendo así las retenciones de tráfico altamente contaminantes y la cantidad de tiempo en la que se está expuesto a ese ambiente. **Caminar o desplazarse en bicicleta** también es una alternativa al uso del coche, aunque en días con altos niveles de contaminación no es recomendado, ya que aumenta la exposición del organismo a los compuestos contaminantes. Si el uso del coche es inevitable, es conveniente **evitar las horas punta** de mayor tráfico, **compartir el vehículo** y conducir de una manera económica y a la **velocidad recomendada** para evitar la quema de combustible extra. Unos hábitos fácilmente aplicables son los relacionados con el estado del coche, manteniendo una correcta presión de los neumáticos y la **inspección técnica** al día. Además, es importante **apagar el motor** del vehículo en los momentos de espera, tanto en atascos de tráfico como, por ejemplo, esperando en la puerta del colegio.

Otro punto importante en el cambio de hábitos es el relacionado con la calefacción del hogar y el centro de trabajo. Como se ha dicho, éstas son la principal fuente de contaminación en las ciudades, por lo que es necesaria su contención aunque sean imprescindibles. En este punto es importante mantener el **sistema de calefacción actualizado** o en buen estado para que sea más eficiente y tarde menos tiempo en alcanzar la temperatura deseada. Una costumbre eficaz en este caso es acostumbrarse a **purgar los radiadores** tras unos meses de actividad, abriendo el purgador con una llave y dejando escapar el aire almacenado. También, es una buena idea colocar **paneles reflectantes** en la pared para evitar que el calor sea almacenado por ésta, igual que instalar **puertas y ventanas aislantes** y

asegurarse de cerrarlas cuando se enchufa la calefacción. Una costumbre muy extendida es la de colocar ropa húmeda sobre los radiadores, hábito que es necesario cambiar para mantener un correcto flujo de aire caliente y reducir el uso de energía. Otro hábito muy importante es el de seleccionar una **correcta temperatura** de la calefacción. Hay que acostumbrarse a no utilizar ropa veraniega en casa y abrigarse algo más, recomendándose no superar una temperatura de 15-16 grados por la noche y de 20-21 durante el día. Naturalmente, cualquier ahorro de energía adicional que se pueda realizar en casa va a reducir las emisiones atmosféricas de las fuentes de energía. Esto se puede llevar a cabo simplemente **desenchufando los aparatos eléctricos** que no se estén utilizando, sobre todo por las noches, y favorecer el uso de **energías limpias** a nivel de vivienda, como pueden ser los paneles solares y las baterías.

Igual que en las ciudades, en el medio rural también se pueden cambiar algunas acciones a las que estamos acostumbrados para reducir la contaminación del aire. Una costumbre muy extendida es la de quemar basura o los restos del trabajo agrícola, lo que supone una alta emisión de partículas a la atmósfera y demás compuestos asociados, dependiendo del material que se queme. Para ello, se recomienda un sencillo **sistema de almacenaje de residuos** y reservar un tiempo semanal para transportar estos desechos a servicios de reciclaje o contenedores locales. De esta manera, además, se reduce la probabilidad de provocar incendios involuntarios, los cuales son una de las principales fuentes de emisión de partículas en los meses de verano. Igualmente se recomienda **no realizar barbacoas** o demás fuegos en el campo en días secos y de alerta por mala calidad del aire. Un hábito que puede ayudar a reducir directamente la contaminación del aire es la **plantación y cuidado de vegetación** en lugares destinados a ello, actividad cada vez más extendida en el ecoturismo y en la que es fácil participar si se desarrolla esta costumbre.

Esta concienciación y cambio de hábitos continuados en el tiempo debe verse respaldada por las decisiones futuras de la población. De esta manera, es más sencillo que un individuo concienciado elija un coche más limpio a la hora de comprarse uno nuevo o que seleccione mejor el tipo de calefacción de su casa, su mantenimiento y los momentos idóneos para enchufarla. Respecto al cambio de hábitos para reducir la exposición a los altos niveles de contaminación, basta con seguir las recomendaciones establecidas en este documento y participar de una manera activa en el sistema de información y alertas. La incorporación a la vida diaria será de manera gradual y acabará requiriendo muy poco esfuerzo, mientras que la repercusión en la salud y la calidad del aire será de una gran magnitud.

ANEXOS

ANEXO I

Planes de calidad del aire en las Comunidades y Ciudades Autónomas

CCAA	Plan de Calidad del aire	Contaminantes	Categorías Índice de Calidad del Aire	
Andalucía	Sí, por zonas	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ y PM _{2.5}	Buena (0-50), Admisible (51-100), Mala (101-150), Muy mala (>150)	100 = Valor límite marcado por legislación
Aragón	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y PM ₁₀	Buena (0-50), Admisible (51-100), Mala (101-150), Muy mala (>150)	100 = Valor límite marcado por legislación
Asturias, Principado de	Sí, por zonas	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ y PM _{2.5}	Muy buena (0-50), Buena (51-100), Regular (101-150), Mala (>150)	
Baleares, Islas	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y PM	Excelente (0-33), Buena (34-66), Regular (67-100), Mala (>100)	IQAib = (valor de la medida / valor de la normativa) x 100
Canarias, Islas	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y PM ₁₀	Buena (<50% VL), Regular (50-100% VL), Mala (>VL)	
Cantabria	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y PM ₁₀	Muy buena (0-32), Buena (33-65), Aceptable (66-99), Mala (100-150), Muy mala (>150)	100 = Valor límite marcado por legislación
Castilla-La Mancha	No	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ y PM _{2.5}	0-40% VL, 40-60% VL, <60% VL	
Castilla y León	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y PM	0-40% VL, 40-60% VL, <60% VL	
Cataluña	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ y PM _{2.5}	Buena (>50), Regular (0-49) y Pobre (<0)	ICQA
Comunidad Valenciana	No			

Extremadura	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ y PM _{2.5}	0-40% VL, 40-60% VL, <60% VL	
Galicia	No	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y PM	Buena (0-50), Admisible (51-100), Mala (101-150), Muy mala (>150)	100 = Valor límite marcado por legislación
La Rioja	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y PM ₁₀	Muy buena (0-25), Buena (26-50), Admisible (51-75), Mala (76-100), Muy mala (>100)	CAQI
Madrid	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ y PM _{2.5}	Muy buena (0-32), Buena (33-65), Aceptable (66-99), Mala (100-150) o Muy mala (>150)	
Murcia, Región de	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ y PM _{2.5}		Valores por contaminantes
Navarra, Comunidad Foral de	Sí	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y PM ₁₀	Muy bueno, Bueno, Mejorable, Malo y Muy malo	Valores por contaminantes
País Vasco	Sí, por zonas	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ y PM _{2.5}	Muy bueno, Bueno, Mejorable, Malo y Muy malo	Valores por contaminantes
Ceuta	No			
Melilla	No			

ANEXO II

Cálculo de los diferentes índices de calidad del aire

A. Índice de la Calidad del Aire (AQI)

El índice AQI se calcula independientemente para cada contaminante, tal y como hemos visto anteriormente. La ecuación con la que se calcula depende de la categoría en la que se encuentra la concentración de cada contaminante:

$$\text{Si } j = 1 \quad \text{AQI} = \text{AQI}_j \frac{C_m}{C_j}$$

$$\text{Si } j > 1 \quad \text{AQI} = \frac{(\text{AQI}_j - \text{AQI}_{j-1})}{(C_j - C_{j-1})} \times (C_m - C_{j-1}) + \text{AQI}_{j-1}$$

Los términos encontrados en las ecuaciones anteriores corresponden con:

- C_m : concentración monitoreada del contaminante.
- AQI_j y AQI_{j-1} : índices correspondientes a las categorías j y $j-1$, respectivamente.
- C_j y C_{j-1} : concentraciones correspondientes al límite superior e inferior de la categoría j .

En la Tabla 2 vemos las categorías de cada contaminante, correspondiendo la “Muy buena” con $j=1$ y “Muy mala” con $j=5$. De esta manera, casi todos los términos están determinados para cada categoría de cada método y sólo queda introducir la concentración medida del contaminante. De entre todos los AQI calculados para cada contaminante, se escoge el valor máximo y se utiliza para la definición final de la calidad del aire.

B. Índice Agregado de la Calidad del Aire (AAQI)

El índice AAQI se basa en el cálculo anterior pero, como tiene en cuenta los efectos combinados de los contaminantes, se añade la siguiente ecuación:

$$\text{AAQI} = \left(\sum (\text{AQI}_i)^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

Aquí se puede observar la constante irrelevante de contaminación mencionada en el texto. Si $p=\infty$, el AAQI sería igual al AQI anterior, al no considerar interacción entre contaminantes. Mientras que si $p=1$, el AAQI sería igual a la suma lineal de los AQI de cada contaminante.

C. Índice de la Calidad del Aire y Salud (AQHI)

El índice AQHI se basa en el exceso de riesgo (ER) sobre la salud que se aporta al exponerse al efecto contaminado de los compuestos dañinos presentes en el aire. Para ello, primero es necesario calcular el riesgo relativo (RR) de cada contaminante. Este riesgo se estima con base a estudios sobre sus efectos en la salud y se calcula con la siguiente ecuación:

$$RR = e^{\beta(C-C_0)}$$

En este caso, el coeficiente de relación exposición-respuesta se corresponde con β , el cual representa el exceso de riesgo de darse un efecto adverso en la salud para un incremento del contaminante. El resto de términos de la ecuación se tratan de la concentración medida del contaminante (C) y del umbral de concentración de cada contaminante por debajo del cual no se han demostrado efectos adversos (C_0). Actualmente, en la mayoría de cálculos de AQHI, se considera que la mera presencia del contaminante es perjudicial para la salud ($C_0 = 0$).

El ER de cada contaminante se define como $RR-1$, por lo que el cálculo del ER total por la exposición simultánea a varios contaminantes del aire se calcula con:

$$ER_{total} = \sum ER = \sum (RR - 1)$$

Así pues, a mayor ER_{total} , mayor riesgo para la salud.

Anexo III

Infografía para la difusión de las recomendaciones para la salud



BIBLIOGRAFÍA

- Abelshon A and Siteb DM (2011). Health effects of outdoor air pollution: Approach to counseling patients using the Air Quality Health Index. *Canadian Family Physician* 57:881-7
- Arroyo V, Linares C, Díaz J (2019). Premature births in Spain: Measuring the impact of air pollution using time series analyses. *Science of the Total Environment* 660:105-114
- Bell ML, Davis DL, Cifuentes LA, Krupnick AJ, Morgenstern RD, Thurson GD (2008). Ancillary human health benefits of improved air quality resulting from climate change mitigation. *Environmental Health* 7:41-59
- Bishoi B, Prakash A, Jain VK (2009). A Comparative Study of Air Quality Index Based on Factor Analysis and US-EPA Methods for an Urban Environment. *Aerosol and Air Quality Research* 9:1-17
- Block ML, Elder A, Auten RL, Bilbo SD, Chen H, Chen JC, Cory-Slechta AC, Costa D, Diaz-Sanchez D, Droman DC, Gold D, Gray K, Jeng HA, Kaufman JD, Kleinman MT, Kirshner A, Lawler C, Miller DS, Nadadur S, Ritz B, Semmens EO, Tonelli LH, Veronesi B, Wright RO, Wright R (2012). The Outdoor Air Pollution and Brain Health Workshop. *Neurotoxicology* 33: 972–984
- Calderón-Garcidueñas L, Solt AC, Henríquez-Roldán C, Torres-Jardón R, Nuse B, Herrit L, Villarreal-Calderón R, Osnaya N, Stone I, García R, Brooks DM, González-Maciel A, Reynoso-Robles R, Delgado-Chávez R, Reed W (2008). Long-term Air Pollution Exposure Is Associated with Neuroinflammation, an Altered Innate Immune Response, Disruption of the Blood-Brain Barrier, Ultrafine Particulate Deposition, and Accumulation of Amyloid β -42 and α -Synuclein in Children and Young Adults. *Toxicology Pathology* 36:289-310
- Chen B and Kan H (2008). Air pollution and population health: a global challenge. *Environmental Health of Preventive Medicine* 13:94-101
- Chen R, Wang X, Meng X, Hua J, Zhou Z, Chen B, Kan H (2013). Communicating air pollution-related health risks to the public: An application of the Air Quality Health Index in Shanghai, China. *Environment International* 51:168–173
- Currie J, Neidell MJ, Schmieder J (2008). Air pollution and infant health: Lessons from New Jersey. *Journal of Health Economics* 28:688-703
- Day DB, Xiang J, Mo J, Li F, Chung M, Gong J, Weschler CJ, Ohman-Strickland PA, Sundell J, Weng W, Zhang Y, Zhang JJ (2017). Association of Ozone Exposure With Cardiorespiratory Pathophysiologic Mechanisms in Healthy Adults. *JAMA Internal Medicine* 117:1344-1353
- Díaz J, Ortiz C, Falcón I, Salvador C, Linares C (2018). Short-term of tropospheric ozone on daily mortality in Spain. *Atmospheric Environment* 187:107-116
- Dirección General de Sostenibilidad y Control Ambiental, Ayuntamiento de Madrid (2018). Protocolo de actuación para episodios de contaminación por dióxido de nitrógeno en la ciudad de Madrid. Disponible en: https://www.esmadrid.com/sites/default/files/protocolo_anticontaminacion_08102018.pdf
- Dominici F, Peng RD, Barr CD, Bell ML (2010). Protecting Human Health from Air Pollution: Shifting from a Single-Pollutant to a Multi-pollutant Approach. *Epidemiology* 21:187-194
- European Commission (2016). Services to develop an EU Air Quality Index
- Gurjar BR, Jain A, Sharma A, Agarwal A, Gupta P, Nagpure AS, Lelieveld J (2010) Human health risks in megacities due to air pollution. *Atmospheric Environment* 44:4606-4613

- Heal MR, Kumar P, Harrison RM (2012). Particles, Air Quality, Policy and Health. *Chemical Society Reviews* 41:6606-6630.
- Healthy Building Science (2019). Air Quality Index (AQI) and You. Disponible en: <https://healthybuildingscience.com/2019/02/06/air-quality-index/>
- Hu J, Ying Q, Wang Y, Zhang H (2015). Characterizing multi-pollutant air pollution in China: Comparison of three air quality indices. *Environment International* 84:17–25
- Hu L, Zhu L, Xu Y, Lyu J, Imm K, Yang L (2017). Relationship Between Air Quality and Outdoor Exercise Behavior in China: a Novel Mobile-Based Study. *International Journal of Behavioral Medicine*
- International Cooperative Biodiversity Groups (2007). An economic analysis to inform the air quality strategy. Updated third report of the Interdepartmental Group on Costs and Benefits. Department for Environment, Food and Rural Affairs of UK
- Jiang W, Wang Y, Tsou MH, Fu X (2015). Using Social Media to Detect Outdoor Air Pollution and Monitor Air Quality Index (AQI): A Geo-Targeted Spatiotemporal Analysis Framework with Sina Weibo (Chinese Twitter). *PLoS One* 10:e0141185
- Kampa M and Castanas E (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution* 151:362-367
- Kan H, London SJ, Chen G, Zhang Y, Song G, Zhao N, Jiang NZ, Chen B (2008). Season, Sex, Age, and Education as Modifiers of the Effects of Outdoor Air Pollution on Daily Mortality in Shanghai, China: The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study. *Environmental Health Perspectives* 9:1183-1188
- Kinney PL (2008). Climate Change, Air Quality, and Human Health. *American Journal of Preventive Medicine* 35:459-467
- Linares C, Falcón I, Ortiz C, Díaz J (2018). An approach estimating the short-term effect of NO₂ on daily mortality in Spanish cities. *Environment International* 116:18-28
- Matus K, Nam KM, Selin NE, Lamsal LN, Reilly JM, Paltsev S (2012). Health Damages from Air Pollution in China. *Global Environmental Change* 22:55-66
- Morgenstern V, Zutavern A, Cyrus J, Brockow I, Koletzko S, Krämer U, Behrend H, Herbarth O, von Berg A, Bauer CP, Wichman HE, Heinrich J (2008). Atopic Diseases, Allergic Sensitization, and Exposure to Traffic-related Air Pollution in Children. *American Journal Of Respiratory And Critical Care Medicine* 117:1331-1337
- Ministerio de Transición Ecológica, Gobierno de España (2017). Evaluación de la calidad del aire en España. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informeevaluacioncalidadaireespana2017_tcm30-481655.pdf
- Ministerio de Transición Ecológica, Gobierno de España (2017). Plan Nacional de Calidad del AIRE 2017-2019 (Plan Aire II). Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/planaire2017-2019_tcm30-436347.pdf
- Nielsen CP and Ho MS (2007). Air Pollution and Health Damages in China: An Introduction and Review. In *Clearing the Air: The Health and Economic Damages of Air Pollution in China*, M.S. Ho and C.P. Nielsen (eds.)
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2016). The economic consequences of outdoor air pollution. Policy highlights. Disponible en: <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/Policy-Highlights-Economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-web.pdf>

- Ortiz C, Linares C, Carmona R, Díaz J (2017). Evaluation of short-term mortality attributable to particulate matter pollution in Spain. *Environmental Pollution* 224:541-551
- Radisic S and Newbold KB (2016). Factors influencing health care and service providers' and their respective "at risk" populations' adoption of the Air Quality Health Index (AQHI): a qualitative study. *BMC Health Services Research* 16:107-119
- Rücker R, Schneider A, Breitner S, Cyrus J, Peters A (2011). Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhalation Toxicology* 23:555-592
- Saikawa E, Naik V, Howrowitz LW, Liu J, Mauzerall DL (2009). Present and potential future contributions of sulfate, black and organic carbon aerosols from China to global air quality, premature mortality and radiative forcing. *Atmospheric Environment* 43:2814-2822
- Sonoma County (2018). Sonoma County Schools Air Quality Guidelines. Disponible en: https://www.scoe.org/files/Sonoma_County_Schools_Air_Quality_Guidelines.pdf?fbclid=IwAR0FZ6mj_hCx6sWWTSSMe3pqs_BRbugBx0rqN8ZzZtSRUQXKSycWml_trN4
- Stieb DM, Burnett RT, Smith-Dorion M, Brion O, Hyun H, Economou V (2008). A New Multipollutant, No-Threshold Air Quality Health Index Based on Short-Term Associations Observed in Daily Time-Series Analyses. *Journal of the Air & Waste Management Association* 58:435-450
- The World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation (2016). The Cost of Air Pollution. Strengthening the Economic Case for Action. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/25013/108141.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- U.S. Environmental Protection Agency (2014). Air Quality Index: A Guide to Air Quality and your Health.
- WHO Regional Office for Europe (2013). Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Disponible en: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-project.-recommendations-for-concentration-response-functions-for-cost-benefit-analysis-of-particulate-matter,-ozone-and-nitrogen-dioxide>
- WHO Regional Office for Europe (2016). WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs). Disponible en: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0013/301720/Evidence-future-update-AQGs-mtg-report-Bonn-sept-oct-15.pdf
- Wong CM, Vichit-Vadakan N, Kan H, Qian Z (2008). Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA): A Multicity Study of Short-Term Effects of Air Pollution on Mortality. *Environmental Health Perspectives* 116:1195-1202
- World Health Organization (2006). Air Quality Guidelines, Global Update 2005, particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Yang T, Matus K, Paltsev S, Reilly J (2005). Economic Benefits of Air Pollution Regulation in the USA: An Integrated Approach. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change