



---

# **Universidad de Valladolid**

**Máster en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria  
y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas**

**Especialidad Física y Química**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**PROPUESTA TEÓRICA Y PRÁCTICA SOBRE LOS  
AEROSOLAS ATMOSFÉRICOS PARA EDUCACIÓN  
SECUNDARIA OBLIGATORIA**

***Autora:*** Blanca Villar Martín

***Tutora:*** Victoria Eugenia Cachorro Revilla

Valladolid, junio 2021

# ÍNDICE

1.	RESUMEN .....	2
2.	JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS Y CONTEXTUALIZACIÓN .....	3
2.1.	Justificación .....	3
2.2.	Objetivos .....	4
2.3.	Contextualización .....	5
3.	INTRODUCCIÓN .....	7
4.	METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO .....	9
5.	PROPUESTA DIDÁCTICA.....	11
5.1.	Qué son los aerosoles. La importancia de los aerosoles atmosféricos .....	11
5.1.1	Formas y tamaños .....	13
5.1.2.	Tipos de aerosol .....	16
5.1.3.	Ejemplos concretos .....	19
5.1.4.	Redes de medida de los aerosoles .....	21
5.2.	Los aerosoles y la salud .....	23
5.3.	Los aerosoles y los microplásticos.....	27
6.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	31
6.1.	Contenidos .....	31
6.2.	Competencias.....	31
6.3.	Elementos transversales .....	33
6.4.	Diseño de las sesiones.....	34
7.	CONCLUSIONES .....	47
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	49
9.	ANEXO .....	52
9.1.	Resultados porcentuales por cursos de la encuesta .....	52
9.2.	Análisis de los resultados de la encuesta .....	55

# 1. RESUMEN

En el ámbito educativo, y en concreto, en la enseñanza de las ciencias en las diferentes asignaturas que se imparten durante la Educación Secundaria Obligatoria, a menudo se busca, que los alumnos sean capaces de relacionar los conceptos teóricos y prácticos desarrollados en las sesiones de clase con las aplicaciones reales que éstos tienen en la vida diaria.

Debido a que el centro donde se han realizado las prácticas contaba con un Proyecto de Autonomía llamado “Ferrari Diverso y Sostenible” y a la situación sanitaria que vivimos desde marzo de 2020, en la que los aerosoles atmosféricos han estado presentes continuamente en los medios de comunicación por su relación directa con la transmisión por vía aérea del SARS-CoV2, se decidió realizar el presente trabajo. Con el objetivo de informar al alumnado sobre la relación de estas partículas tanto en temas relacionados con la salud de los seres humanos como con el medioambiente.

Se ha realizado una revisión sobre los aerosoles atmosféricos y los campos con los que tienen relación las partículas que los forman. Tras esta revisión, se ha redactado una propuesta teórica y práctica, de carácter innovador, para abordar el tratamiento de estos contenidos de forma transversal dentro de la asignatura de Física y Química de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), adaptando ésta a los conocimientos previos de los alumnos a los que iba dirigida, concretamente los alumnos de los cursos de tercero y cuarto de la ESO. En la parte teórica se incluye la información necesaria que debe conocer el alumnado sobre los aerosoles atmosféricos y la relación de éstos en diferentes ámbitos, como son, el medioambiental, salud y cambio climático, o estudiar los micropásticos, como un tipo de aerosol específico y muy poco conocido en la actualidad. En la parte práctica, se han propuesto una serie de sesiones en las que se realizan diferentes actividades, de forma que favorezcan el interés, la motivación y ayuden a los alumnos a establecer relaciones directas de cómo tratar temas de actualidad desde la asignatura de Física y Química. Mostrando al alumnado en el transcurso de toda la propuesta, la trascendencia de la ciencia en la sociedad.

**Palabras clave:** aerosoles atmosféricos, SARS-CoV2, COVID-19, salud, contaminación, actualidad, educación secundaria.

## 2. JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS Y CONTEXTUALIZACIÓN

En este primer apartado del presente trabajo de fin de Máster se muestra la justificación con argumentos que permiten reconocer la necesidad de la realización de este trabajo, así como los objetivos que se desean obtener con el desarrollo de lo expuesto en él. Por último, se especificará la contextualización, donde se mostrará el contexto en el que ha sido planteado y realizado.

### 2.1. Justificación

Hoy en día cualquier persona es consciente de la situación medioambiental en la que nos encontramos. Además conceptos como son cambio climático, gases de efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono, etc., son ampliamente conocidos por la población. Aunque no sepan su significado completo saben la relación y la repercusión actual que tienen estos conceptos sobre el medioambiente.

Debido a esta situación medioambiental en la que estamos inmersos, el centro educativo IES Emilio Ferrari, decidió llevar a cabo por primera vez en el curso 2017-2018, un Proyecto de Autonomía relacionado con esta situación, denominado “Ferrari Diverso y Sostenible”. Este proyecto ha sido el punto de partida para realizar el presente trabajo. En un futuro dicho proyecto se podrá ampliar con la propuesta que se detalla en él.

Debido a la situación actual sanitaria en la que vivimos, provocada por la COVID-19, conceptos que anteriormente no eran conocidos por la población general, relacionados con el medioambiente, han sido aplicados y relacionados directamente con la causa principal de la transmisión del virus por la atmósfera del aire. Nos referimos, concretamente, a las partículas de aerosol atmosférico. Esto puede ser tratado desde la enseñanza en temas transversales que se lleva a cabo en los centros de educación y concretamente podría ser tratado dentro de las actividades del Proyecto de Autonomía con el que cuenta el centro, anteriormente mencionado.

Debido tanto a la repercusión medioambiental que tienen los aerosoles atmosféricos, como a la importancia que han cobrado durante estos últimos meses siendo la causa principal de la transmisión del virus, se ha decidido llevar a cabo una propuesta didáctica, para conocer la relación de estas partículas en diferentes campos. Y con todo ello, conseguir uno de los objetivos principales del presente trabajo, que es, que los alumnos cuando oigan hablar de aerosoles no lo relacionen única y exclusivamente con la COVID-19.

La educación, según Jacques Delors dentro de su artículo “Los cuatro Pilares de la Educación”, es un proceso que nos acompaña a lo largo de la vida, y durante toda ella se lleva a cabo el proceso de aprendizaje. Es por esto por lo que considero de vital importancia, que el proceso de enseñanza y aprendizaje en temas transversales y valores se lleve a cabo desde edades tempranas.

Por todo ello, y por la necesidad de educar al alumnado tanto a nivel de competencias que marca la ley como a nivel de temas transversales, un profesor de Secundaria, Bachillerato y Formación Profesional debe buscar permanentemente a lo largo de la puesta en práctica de su labor docente la mejor forma de ayudar a sus alumnos para conseguir que el proceso de enseñanza y aprendizaje sea el mejor posible.

La enseñanza de la Física y Química según la ORDEN EDU/362/2015, de 4 de mayo de 2015, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad de Castilla y León, y citando literalmente la anterior orden:

*Como disciplina científica debe proporcionarles los conocimientos y destrezas necesarios para desenvolverse en la vida diaria, resolver problemas y adoptar actitudes responsables frente al desarrollo tecnológico, económico y social. Esta materia también es importante en la formación de un pensamiento propio y crítico.*

[...]

*Durante el primer ciclo el objetivo prioritario debe ser la alfabetización científica, tan necesaria en un mundo repleto de productos científicos y tecnológicos.*

*En el segundo ciclo la materia debe tener un carácter formal y estar enfocada a dotar al alumnado de capacidades específicas asociadas a esta disciplina.*

A la alfabetización científica que se plantea como objetivo prioritario del primer ciclo de la ESO (Educación Secundaria Obligatoria), va a contribuir esta propuesta, ya que el tema que se trata en ella es de actualidad y forma parte de las conversaciones diarias, debido en gran parte a la situación sanitaria actual que se está dando. Por ello es fundamental que los alumnos conozcan y comprendan los conceptos tratados en dicha propuesta. Con el objetivo principal de que se familiaricen con ellos y con la terminología científica utilizada. A través de las actividades que van a ser realizadas en la implementación de la propuesta, se quiere conseguir el objetivo de que sean ellos mismos, capaces de explicar sus resultados y los conceptos relacionados con éstos, que se ponen de manifiesto en cada una de las actividades, consiguiendo a través de esta comunicación con otras personas completar el proceso de enseñanza y aprendizaje. Con esto último, se conseguiría tanto el objetivo principal del segundo ciclo de la ESO, como la finalidad principal de esta propuesta.

La alfabetización científica, debe además ir acompañada, de una apreciación cultural hacia la Física y la Química, para con ello conseguir la formación de ciudadanos en valores, ciudadanos conscientes de las repercusiones que pueden ocasionar sus actos en la sociedad y en el medio natural que los rodea.

## *2.2. Objetivos*

El objetivo principal del presente Trabajo Fin de Máster es, la redacción de una propuesta didáctica innovadora que podría ser incluida dentro del currículo de la asignatura de Física y Química, o ser trabajada, como se ha planteado en este caso, de manera transversal desde esta asignatura. Esta propuesta incluye actividades que permiten abordar ciertos contenidos que son tratados en ella. De esta forma se pretende acercar al alumnado contenidos relacionados con las partículas de aerosol atmosférico y su relación con diversos campos de plena actualidad. Los contenidos que van a ser tratados, podrían ser incluidos en la programación didáctica del departamento de Física y Química del centro.

Otros objetivos que pueden ser destacados de este Trabajo Fin de Máster son:

- Realizar un estudio del Proyecto de Autonomía “Ferrari Diverso y Sostenible”, para encajar la propuesta que iba a ser planteada, con la cual podría ser ampliado dicho proyecto.
- Asegurar una educación de calidad al alumnado de la ESO desde la asignatura de Física y Química en el tema de estudio sobre aerosoles atmosféricos que aborda la propuesta didáctica.
- Adaptar el contenido de la propuesta didáctica, partiendo del análisis de los resultados obtenidos en la encuesta, a los conocimientos previos de los alumnos con los que se ha trabajado durante la realización de las prácticas.
- Evaluar la eficiencia de la realización de actividades en grupo sobre indagación e investigación, como recursos didácticos para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje.

### *2.3. Contextualización*

El presente trabajo se ha basado en el Proyecto de Autonomía con el que cuenta el centro donde ha sido realizada la parte prácticas de este Máster. A partir de él surgió la idea de llevar a cabo una propuesta didáctica basada en conceptos que tuvieran relación con el medioambiente, concretamente las partículas de aerosol atmosférico. Esta idea se vio impulsada por la repercusión que está teniendo actualmente dicho tema en los medios de comunicación debido a la situación sanitaria provocada por la COVID-19.

Este Proyecto de Autonomía nace en el centro, con el objetivo de posibilitar la optimización de la acción educativa para así mejorar los procesos de enseñanza, la inclusión educativa, los resultados de los aprendizajes del alumnado del centro, así como programar una oferta educativa específica en él. Abordando con todo ello aspectos que el centro considera importantes en su Proyecto Educativo del Centro.

El enfoque del proyecto va dirigido principalmente a potenciar un Proyecto de Sostenibilidad en el centro, utilizando para ello metodologías de grupos flexibles y desdobles que permitan una mayor participación, reduciendo para ello el número de alumnos por clase. Además se obtendrá una mejor comprensión y adaptación de contenidos en función del nivel de competencia (teniendo en cuenta la igualdad de oportunidades para todos los alumnos), una metodología más acorde con los objetivos planteados dentro del Proyecto de Sostenibilidad, así como una mejora en la superación de los estándares de aprendizaje evaluables de cada curso, lo que conducirá a una mejora de los resultados. Y todo ello unido al objetivo principal, que es, la potenciación del respeto y el cuidado del medioambiente en el centro.

Los cursos en los que se ha decidido llevar a cabo la propuesta que se detalla en este documento son 3º y 4º de la ESO, debido a la necesidad de informar a los alumnos, desde edades tempranas, en temas de actualidad y que adquieran con ello unos conocimientos sólidos sobre éstos. Y con todo ello, vayan formando su pensamiento propio y crítico en torno al tema tratado en la propuesta y su relación con diversos campos. Además surge de la necesidad de que los alumnos de estos cursos observen como desde la asignatura de Física y Química se pueden abordar temas de la vida cotidiana, y a su vez vean aplicaciones reales de conceptos estudiados en esta asignatura. A partir de las actividades grupales que se proponen en las sesiones destinadas a la implementación de la propuesta, los alumnos, mediante el trabajo en grupo, adquieren de una forma óptima los conceptos involucrados, ya que las

edades que abarcan los alumnos de estos cursos se ofrecen mucho a la realización de este tipo de actividades grupales.

Esta propuesta podría ser ampliada e impartida en otros cursos, o incluso en ámbitos que no estuviesen relacionados con la docencia en los centros de enseñanza de Educación Secundaria Obligatoria. Todo ello con el objetivo de informar correctamente a la población sobre temas de gran interés y con gran repercusión en el mundo actual.

### 3. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, se han producido numerosos procesos de cambio en las condiciones climáticas en la Tierra, que han causado tanto el calentamiento como el enfriamiento de la atmósfera terrestre, con lo cual, hablando en términos actuales, nos referimos al llamado sistema climático de la Tierra. Todo ello ha conducido a las condiciones climáticas que tenemos en la actualidad.

En el pasado, las condiciones que se daban sobre nuestro planeta eran variables, como consecuencia de procesos y causas naturales que tenían lugar (grandes glaciaciones, caída de meteoritos, etc). Esto recibía el nombre de cambio climático. Actualmente, este concepto de cambio climático es utilizado para definir grandes variaciones climáticas, producidas e incrementadas debidas a la acción del ser humano, es decir, de origen antropogénico. Y donde estas variaciones han tenido lugar en un periodo de tiempo muy corto, aproximadamente en los últimos 100 años. Se trata de un hecho que ha sido demostrado, debido a las observaciones que se han realizado sobre el clima en este periodo de tiempo, y sobre el cual existe un amplio consenso científico, que determina que los cambios actuales, así como los que se prevén para lo que resta de siglo XXI, son consecuencia principal de la actividad humana, es decir de origen antropogénico, más que de procesos de origen natural, originados por cambios naturales en la atmósfera.

Al tratar conceptos relacionados con el medioambiente, los cuales tienen gran relevancia en la actualidad, podemos citar algunos componentes atmosféricos como son el vapor de agua, el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el ozono ( $O_3$ ), y otros gases (como son los óxidos de nitrógeno), los cuales contribuyen al efecto invernadero. En la atmósfera, además de gases, podemos encontrarnos material particulado, que constituye otro elemento presente en la atmósfera y a su vez otro componente más de la misma. Este material particulado es también conocido como aerosoles, y tiene como origen múltiples fuentes, tanto naturales (por ejemplo, la arena de los desiertos o partículas marinas) como antropogénicas (por ejemplo, partículas provenientes de la combustión como el “black carbon” o el “organic carbon”). Estas partículas pueden encontrarse tanto en forma sólida como líquida, pero no en forma gaseosa.

En los últimos años ha adquirido un creciente interés el estudio de los aerosoles presentes en la atmósfera, tanto por el papel que desempeñan éstos en los procesos climáticos y su conexión directa con el cambio climático, como por su incidencia en la salud de los seres humanos. Esto último ha sido un tema de plena actualidad debido a la situación sanitaria que llevamos viviendo desde marzo de 2020, donde se ha relacionado directamente a estas partículas con la transmisión por vía aérea del SARS-CoV-2.

Los aerosoles atmosféricos influyen considerablemente en el clima de la Tierra, y es necesario cuantificar esta influencia. Esta cuantificación ha provocado un aumento del interés actual en este amplio tema de investigación. Los principales mecanismos por los que los aerosoles influyen en el balance radiativo terrestre son la dispersión y la absorción de la radiación solar (llamado efecto directo); la modificación de las propiedades de las nubes y por ende la precipitación, afectando tanto a la radiación como a la hidrología (llamado efecto indirecto) (Palacios et al., 2014). Toda esta investigación abarca el ámbito de estudio de la relación directa de los aerosoles con el cambio climático, y podría suponer una posible ampliación del presente trabajo.

La situación actual sanitaria en la que estamos inmersos ha cambiado nuestra forma de vida, así como el proceso de enseñanza y aprendizaje que se lleva a cabo en los centros educativos, además el tema tratado en esta propuesta tiene un carácter multidisciplinar. Por todo ello se deben realizar



propuestas, como la que conforma este documento, en las que los alumnos reciban la información más precisa y real sobre qué son los aerosoles, sus características, tipos y la relación de estas partículas con diferentes factores, como es por ejemplo, la salud de los seres humanos. Todo ello será desarrollado en la propuesta didáctica, y se plantearán actividades para realizar en caso de que la propuesta sea puesta en práctica en un centro educativo. Muchas de las actividades están dirigidas a la concienciación del alumnado en diferentes campos.

## 4. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

El estudio llevado a cabo para realizar la propuesta didáctica que se plantea en el presente trabajo sobre los aerosoles atmosféricos, así como para realizar el diseño de las sesiones destinadas a su implementación, siguió una serie de pasos. Estos son detallados a continuación.

En primer lugar se redactó una encuesta para que fuese realizada por el alumnado del centro en el cuál se realizaron las prácticas de este Máster. La encuesta en concreto, que se puede consultar en el Anexo del presente trabajo, fue distribuida entre los alumnos de la ESO a los que mi tutor impartía docencia dentro de la asignatura de Física y Química. Una vez realizaron la encuesta, se procedió a observar y analizar las respuestas dadas en ella. Para ello, se realizó un análisis porcentual, con el objetivo de poder comparar los conocimientos previos que el alumnado tenía sobre el tema de la propuesta didáctica que se iba a plantear posteriormente. Los resultados así como el análisis de éstos se muestran en el Anexo. Con todo ello, una vez conocidos los conocimientos que tenía el alumnado, se podrían adaptar los contenidos que iban a ser tratados en la propuesta educativa de innovación a estos alumnos.

Por ello, para la redacción de la propuesta educativa, se ha partido de los conocimientos previos del alumnado con el que se ha trabajado en el centro durante el periodo de prácticas. Pudiendo ser estos contenidos, ampliados o reducidos, en caso de que la propuesta sea dirigida a otro público.

A continuación, para llevar a cabo la redacción de la propuesta didáctica que se plantea en este trabajo, se analizó uno de los documentos oficiales de educación de la Comunidad Autónoma de Castilla y León para el nivel de la ESO (Boletín Oficial del Estado, Orden EDU/362/2015 de 4 de mayo). El análisis de este documento estuvo orientado a ver en qué asignaturas se podría implementar la propuesta didáctica que se iba a plantear posteriormente. Y se observó, debido a que el tema a tratar es multidisciplinar, que la implementación de éste iba a poder abordarse desde diferentes asignaturas que se imparten a lo largo de la Educación Secundaria Obligatoria, como son: Biología y Geología, Física y Química, Cultura científica, Ciencias aplicadas a la actividad profesional, Geografía e Historia y Tecnología. Por ello la propuesta que se plantea en el presente trabajo podría ser, en un futuro, abordada y tratada en estas asignaturas, estudiando para ello diferentes características, tanto de los aerosoles atmosféricos como de las medidas que se realizan de éstos.

Una vez finalizado el análisis, y observando cómo diferentes contenidos que se iban a plantear en la propuesta podrían ser abordados desde diferentes asignaturas de la ESO, la propuesta que se va a realizar se podría incluir en cualquiera de los cuatro cursos de la ESO. En el presente trabajo se decide aplicar ésta en la asignatura de Física y Química. Dicha asignatura se imparte en 2º, 3º y 4º de ESO. Al ser un tema que se sustenta sobre contenidos básicos de la materia de Física y Química, los cuales son adquiridos por el alumnado en su primer año cursando esta asignatura, es decir, 2º de ESO, se ha decidido que esta propuesta podría aplicarse con éxito en los cursos de 3º y 4º de ESO. Pudiendo además ser dirigida a un público general que no pertenezca al centro educativo.

La metodología que se sigue para implementar la propuesta planteada, pone de manifiesto la necesidad de incentivar un aprendizaje contextualizado socialmente. Desde el planteamiento que se lleva a cabo en ella, se pretende incentivar, a través de la realización de las actividades propuestas, la capacidad de establecer relaciones cuantitativas y espaciales, así como potenciar la discusión y argumentación verbal. Además, se quiere enseñar al alumnado la forma de tratar temas de actualidad desde la asignatura de Física y Química.

Durante el desarrollo de la propuesta y de las actividades planteadas en ella, se pone de manifiesto el empleo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs), ya que el uso de éstas merece un tratamiento específico dentro de la materia de Física y Química. El uso de aplicaciones virtuales interactivas, durante alguna de las actividades planteadas, brindará la posibilidad de acceder a una gran cantidad de información clasificándola según criterios de relevancia, y gracias a esto, se fomentará el desarrollo del espíritu crítico entre los alumnos. Mediante el empleo de las TICs los alumnos realizarán actividades de investigación con el objetivo de desarrollar el aprendizaje autónomo del tema propuesto, además podrán profundizar y ampliar contenidos relacionados con la parte teórica en la que esté basada la actividad.

Para la redacción de la propuesta, tanto la parte teórica como la relativa al diseño de las sesiones y actividades, se consultaron diferentes fuentes bibliográficas, casi todas ellas relativas a la descriptiva teórica sobre los aerosoles atmosféricos y la relación de éstos en diferentes ámbitos, como son, cambio climático, salud y medioambiental, al estudiar los microplásticos, como un tipo de aerosol muy específico y también muy poco conocido. Debido a que dicha propuesta es de carácter innovador, las actividades planteadas han sido de creación propia, dirigidas muchas de ellas a concienciar al alumnado tanto en temas medioambientales como de salud humana.

Por último, una vez consultada la información proporcionada por las diferentes fuentes bibliográficas, se inició la redacción de la propuesta teórica y práctica que se muestra en los epígrafes 5 y 6 de la presente memoria.

## 5. PROPUESTA DIDÁCTICA

### *5.1. Qué son los aerosoles. La importancia de los aerosoles atmosféricos*

El aerosol se puede definir como un conjunto de partículas sólidas o líquidas en suspensión en un medio gaseoso (en nuestro caso la atmósfera), que se mantiene el tiempo suficiente como para permitir su observación y medida (Kulkarni et al., 2011).

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la Tierra y se mantiene “unida” a ella por atracción gravitacional. Su espesor es pequeño, ya que su masa (aproximadamente el 99%) está concentrada en los 30 primeros kilómetros desde la superficie de la Tierra. La atmósfera está compuesta por gases y por partículas. Estas partículas las podemos encontrar en estado sólido o líquido.

Los gases que componen la atmósfera mantienen su concentración prácticamente constante, y principalmente son nitrógeno y oxígeno, además de otros gases en menor medida como son argón, neón, helio, etc. En el presente trabajo de fin de Máster no vamos a entrar a estudiar los gases que componen la atmósfera más en profundidad, ya que no se va a hacer un estudio de la contaminación atmosférica como tal.

En este trabajo, vamos a centrarnos en el estudio de las partículas que encontramos en la atmósfera. Estas partículas constituyen un componente más atmosférico, además de los gases mencionados anteriormente. Al conjunto de estas partículas las denominamos aerosoles. Los aerosoles son bien conocidos en el ámbito de la contaminación atmosférica, pero éste es uno de sus aspectos más vinculado a un aspecto antrópico. El otro aspecto, es que es un componente más de la atmósfera (o de otro medio gaseoso) y como tal presenta unas características y peculiaridades propias y específicas frente a los gases, por tanto es un componente natural. Como componente atmosférico tenemos que tener en cuenta su aspecto de influencia climática, donde confluyen los dos aspectos, natural y antrópico.

Una de las propiedades de estas partículas es que actúan como núcleos de condensación, pudiendo adherirse a ellas cualquier otro elemento de tamaño microscópico, como pueden ser, moléculas de gas, virus, etc. Y es por esto por lo que la influencia del aerosol atmosférico resulta fundamental en el clima del planeta, así como en otros ámbitos.

Internamente los aerosoles son una mezcla de sustancias químicas diferentes. Estas sustancias van a determinar su composición, y a raíz de ésta van a ser clasificados en diferentes “tipos de aerosol”. Esta composición química está íntimamente relacionada con lo que denominamos “origen” de los aerosoles. Dicho origen nos proporciona otra posible clasificación de los mismos. Por lo que ambas características, tanto la “composición” como el “origen” están estrechamente relacionadas. Esto se verá más en detalle en el siguiente epígrafe.

La composición química es, desde nuestra perspectiva, la más importante. Debido a que es ésta la que determina a su vez las propiedades ópticas, que se ponen de manifiesto cuando los aerosoles interaccionan con la radiación solar y la radiación infrarroja. Y por tanto, son estas propiedades las que definen el aspecto climático de los aerosoles atmosféricos.

Vamos a hacer una clasificación del aerosol atmosférico según el origen de las partículas que lo forman. Según su origen le podemos clasificar en natural o antropogénico:

- **Natural:** aquel que está compuesto mayoritariamente por cenizas volcánicas, sal marina, polvo desértico, esporas, polen, etc.



- **Antropogénico:** es el producido por actividades que realiza el ser humano, como por ejemplo el humo de las chimeneas, partículas emitidas durante procesos industriales, etc. También consideramos aerosol antropogénico a las partículas producidas mediante procesos fotoquímicos a partir de contaminantes gaseosos (Toledano, 2005).



La concentración de aerosol en la atmósfera es muy variable, desde unos pocos microgramos<sup>1</sup> por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en aire muy limpio, hasta aproximadamente 1000 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en atmósfera muy contaminada.

Generalmente el aerosol se concentra en la baja troposfera (1 a 2 km) de altura. En este caso, es eliminado por la lluvia o la simple acción de la gravedad, lo que conlleva que su tiempo de vida pueda variar de minutos a semanas. En el caso de que el aerosol se encuentre en estratosfera el tiempo de vida del aerosol puede llegar a ser hasta años. Tal es el caso del aerosol originado por erupciones volcánicas y que llega a la estratosfera donde los procesos de eliminación tales como condensación o precipitación no se producen. (Toledano, 2011).

Además de la clasificación de los tipos de aerosol según su origen, se puede hacer una clasificación según el tipo de fuentes que generan las partículas que lo componen. Las fuentes que generan aerosol atmosférico se clasifican en dos tipos:

- Primarias: fuentes naturales tales como océanos, regiones áridas, volcanes o todo aerosol de origen biológico.

<sup>1</sup> El prefijo micro ( $\mu$ ) indica un factor de  $10^{-6}$ , por tanto 1 microgramo equivale a  $10^{-6}$  gramos.

- Secundarias: derivadas de reacciones químicas de gases o compuestos presentes en la atmósfera, que acaban generando partículas por medio de una conversión gas-partícula. El radio de estas partículas es menor de  $0,1 \mu m$ .

Atendiendo a este origen biológico, podemos clasificar a los aerosoles en bióticos y abióticos:

- Bióticos: formados por sustancias de tipo biológico.
- Abióticos: los formados por sustancias inorgánicas. En general estos son los más abundantes en la naturaleza, conformando la mayoría de los tipos.

### 5.1.1 Formas y tamaños

Si ahora nos fijamos en la forma de las partículas de aerosol, vemos que éstas presentan formas de lo más variado (cabe decir que éstas no son esféricas), así como muy diferentes tamaños, como puede observarse en la Figura 1. Existe un alto grado de variabilidad de tamaño de estas partículas, y además sus propiedades físicas son también muy diferentes. Aunque las partículas no sean esféricas, cuando son estudiadas, se les asigna un diámetro que corresponde al diámetro que tendrían si fuesen esféricas, teniendo el mismo volumen que la partícula de estudio (Damián, 2011).

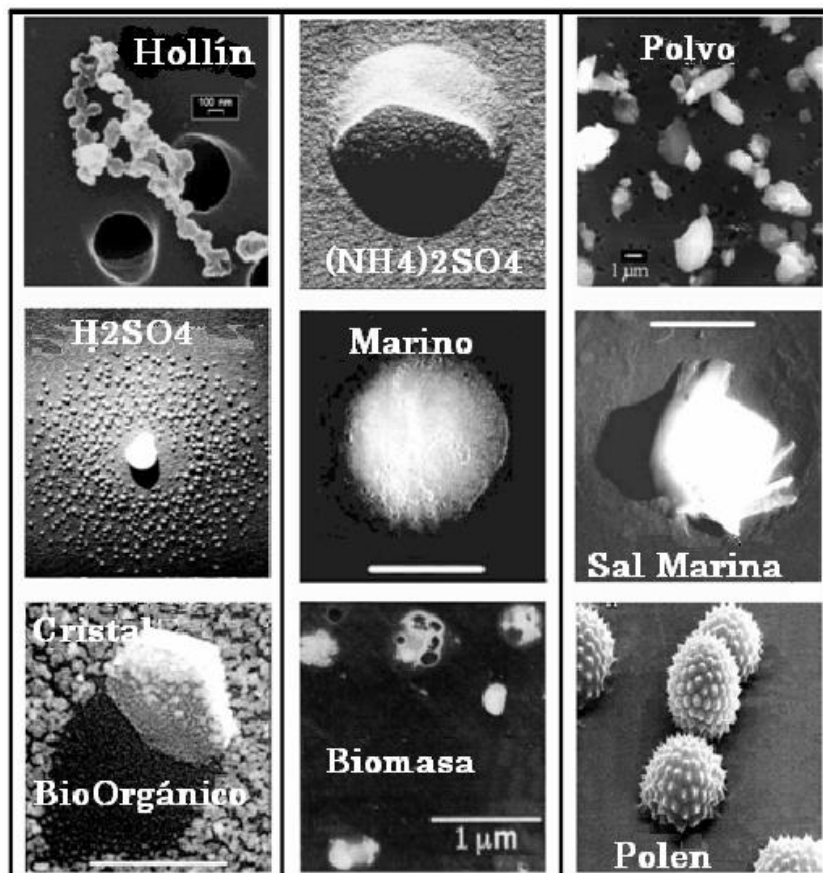


Figura 1. Diferentes tipos de aerosol cuyos orígenes son diversos.

Los tamaños de las partículas de aerosol se representan en la Figura 2, comparándolos con el diagrama que se utiliza para mostrar el espectro electromagnético. En esta figura se comparan los tamaños de las ondas electromagnéticas como son: rayos X y la radiación solar, con los tamaños de moléculas, gases, virus, humo de tabaco, cenizas, núcleos de combustión y bacterias. Todo ello en el rango de tamaños 0.0001  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ .

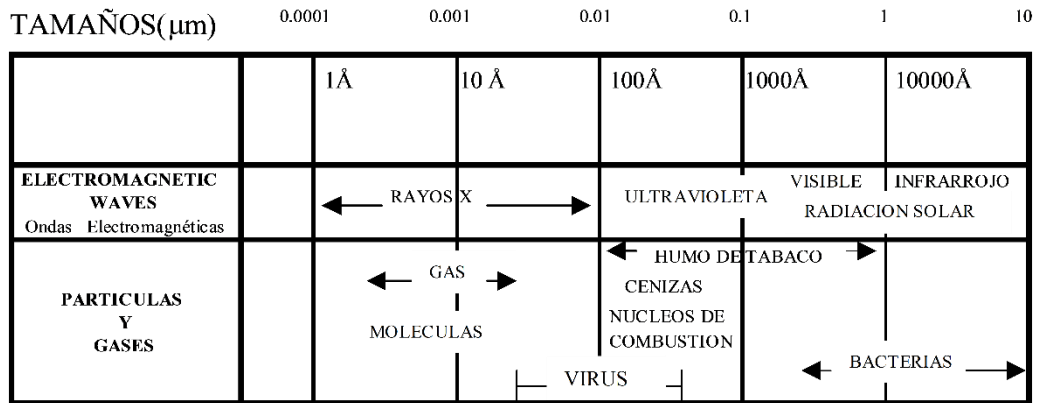


Figura 2. Tamaños de las partículas de aerosol, gases y ondas electromagnéticas existentes en el rango de tamaños 0.0001  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ .

Si distinguimos las partículas de aerosol atmosférico por su tamaño, las podemos clasificar en cuatro modos según su distribución de tamaños, atendiendo a la densidad de partículas, es decir, según la definición de densidad, el número de partículas que hay en un volumen determinado. Estos modos son (Damián, 2011):

- El *modo de nucleación*, está formado por las partículas cuyas dimensiones son menores de 0,02  $\mu\text{m}$ . Su tiempo de vida media en la atmósfera es muy pequeño, del orden de horas, ya que se unen rápidamente a otras partículas. La nucleación de las partículas se ve incrementada en situaciones meteorológicas en las que desciende la temperatura y/o se producen incrementos de la humedad ambiental.
- El denominado *modo de condensación o núcleos de Aitken*, está formado por las partículas cuyas dimensiones oscilan desde unos nanómetros<sup>2</sup> hasta 0.1  $\mu\text{m}$ . Su contribución a la masa total es despreciable debido a su pequeño tamaño, siendo su eliminación de la atmósfera muy eficiente y debida a diversos mecanismos.
- El *modo o rango de acumulación*, lo constituyen las partículas cuyas dimensiones oscilan entre 0.1 y 1 - 2  $\mu\text{m}$ , forman una parte sustancial de la masa, y son eliminadas de la atmósfera menos eficazmente. Son las que más influyen en la interacción de la radiación, en concreto en la dispersión de la radiación solar.
- Las partículas gruesas (o *coarse*), son las partículas cuyas dimensiones se encuentran en el rango 1 - 2  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ . Han sido formadas por procesos mecánicos, y cuyo origen es

<sup>2</sup> El prefijo nano (n) indica un factor de  $10^{-9}$ , por tanto 1 nanómetro equivale a  $10^{-9}$  metros.

tanto natural (polvo arrastrado por el viento, emisiones volcánicas...) como antropogénico. Estas son las partículas que más contribuyen a la masa total de aerosoles.

De una manera más sintética, todo ello se reduce a dos modos, fino y grueso (*fine y coarse*). Dentro del modo fino, en el que se encuentran las denominadas partículas finas, se contabilizan conjuntamente los tres primeros modos descritos anteriormente. El modo grueso está formado por las denominadas partículas gruesas.

Las partículas correspondientes a ambos modos (fino y grueso), son originadas, transportadas y eliminadas de distintas formas. Así, las partículas finas acaban precipitando en el suelo por causa fundamentalmente de la lluvia; mientras que las partículas gruesas acaban en el suelo mediante la sedimentación provocada entre otros factores por la acción gravitatoria y del viento (Villar, 2020).

En la Figura 3, observamos los cuatro modos ya descritos que podemos encontrar al contar partículas, más concretamente, al número de partículas por unidad de volumen (denominada concentración numérica) que encontramos en función del tamaño de cada una de ellas. En esta figura se hace la clasificación en los modos PM10, PM2.5 y PM1 según el tamaño de las partículas. El modo PM10 lo constituyen aquellas partículas cuyo diámetro es igual o menor de 10  $\mu\text{m}$ , por ello las partículas de este modo abarcan todo el eje de abscisas. Dentro del modo PM10 encontramos otros dos modos dependiendo del diámetro de las partículas, por un lado, el modo PM2.5, el cual está constituido por las partículas cuyo diámetro es igual o menor de 2,5  $\mu\text{m}$ , y por otro lado, el modo PM1 lo constituyen las partículas cuyo diámetro es menor de 1  $\mu\text{m}$ .

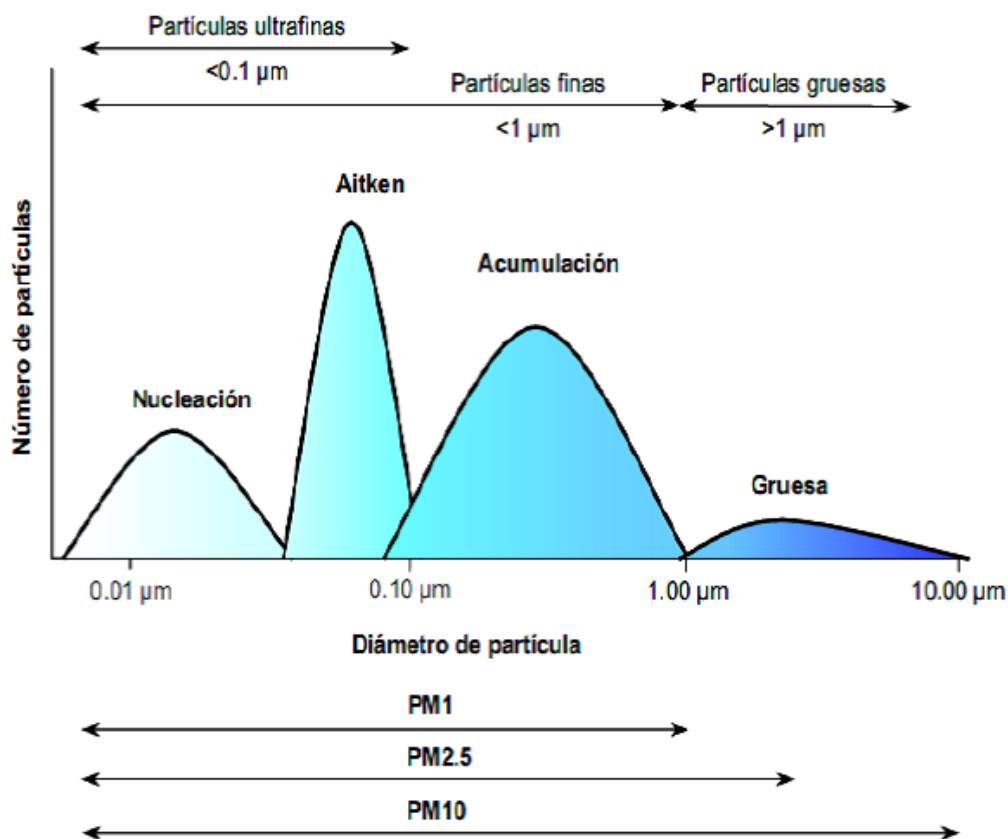


Figura 3. Número de partículas en función del diámetro de éstas. Distribuciones modales de tamaños de partículas de aerosol atmosférico.



Sin embargo, atendiendo a la masa de las partículas (lo cual es inherente a su densidad), lo que se denomina concentración másica (masa por unidad de volumen, medido en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), estos modos se reducen a dos, el llamado modo fino y el modo grueso, referidos anteriormente, lo que también llamamos forma bimodal del tamaño de las partículas. Realmente lo que se tiene al analizar el volumen dado de aire, es una distribución de tamaños de las partículas representado por una función de distribución de tamaños, pero no queremos entrar en un detalle teórico mayor sobre este aspecto.

### 5.1.2. Tipos de aerosol

Atendiendo a las fuentes que originan las partículas de aerosol y a la composición de éstas, se hace una clasificación mostrando las características de cada uno de ellos.

Centrándonos en el origen y en la composición de las partículas de aerosol, se distinguen diferentes tipos de aerosoles (Vergaz, 2001). Estos son:

- Extraterrestres. Proviene de pequeños meteoritos o polvo interplanetario. Este tipo de partículas pueden llegar a penetrar en la atmósfera a través de los polos. Están compuestas principalmente por elementos como hierro, magnesio, silicio, azufre, argón, calcio, níquel, cromo, cloro, manganeso, potasio, cobalto o titanio. El efecto de estas partículas a nivel climático en nuestras latitudes es prácticamente nulo.
- Partículas marinas. En la superficie del agua de mares y océanos se desprenden burbujas como consecuencia de las olas o la lluvia, que para humedades relativas superiores al 98% pueden quedar en suspensión en la atmósfera. Si en el caso de que la humedad relativa dentro de la burbuja descienda entre un 10 y un 74%, puede obtenerse sal saturada integrándose a la atmósfera en forma de aerosol compuesta de  $\text{NaCl}$  o de  $2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Como en la superficie de la Tierra las dos terceras partes corresponde a los mares y océanos, este tipo de aerosol es el más frecuente y extendido.
- Aerosol mineral. Como en la superficie de la Tierra una tercera parte está formada por desiertos o es prácticamente árida, el viento en estas regiones es el causante del arrastre mecánico de partículas minerales que el suelo es incapaz de retener. De esta forma mediante mecanismos físicos como son la convección y circulación atmosférica, un aerosol que haya sido originado en estas regiones puede ser transportado hasta las capas más altas de la troposfera e incluso llegar a alcanzar la estratosfera. Debido a estas grandes alturas que es capaz de alcanzar este tipo de aerosol puede, en su largo viaje, llegar a recorrer miles de kilómetros desde donde se originó.
- Sulfatos y derivados. El origen de partículas de aerosol que contienen sulfatos o compuestos que contienen azufre, es muy variado. Este origen puede deberse a erupciones y procesos volcánicos, siendo estas fuentes capaces de generar del 10 al 20% de las partículas de aerosol de este tipo existentes en la atmósfera. También existe otros orígenes naturales como son los procesos que generan los seres vivos marinos (algas y plancton) o los procesos de oxidación de emisiones biológicas terrestres. Otra de las causas de su origen es debido a procesos antropogénicos, que provienen de combustibles fósiles, especialmente el  $\text{SO}_2$ .

Existen también otros compuestos como el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), sulfuro de carbono ( $CS_2$ ), sulfuro de carbonilo ( $COS$ ) o los producidos por algas marinas, como dimitil sulfuro ( $CH_3SCH_3$ ) y disulfuro de dimetilo ( $CH_3SSCH_3$ ), que generan núcleos de condensación sobre los mares debido a su alta solubilidad. Todo esto es la causa principal y a su más importante de la creación de nubosidad sobre los océanos.

- Nitratos y derivados. Los compuestos nitrogenados más frecuentes provienen de los fertilizantes que se usan en el suelo, derivados del  $N_2O$ . Asimismo, también encontramos  $NO_2$  generado en las combustiones de zonas industriales, tormentas u oxidaciones de otros gases atmosféricos. Debido al pequeño tamaño de estas partículas de aerosol, tienen tendencia a unirse a otras mayores y más complejas. Por ello los compuestos nitrogenados no se consideran individualmente dentro de la clasificación climática.

- Aerosol orgánico. El origen de las partículas de aerosol es diverso:

- Antropogénicos: generados en ataques de  $O_3$  o de radicales  $-OH$  en alquenos ( $C_nH_{2n}$ ).
- Generados en bosques: partículas de aerosol de pequeño tamaño.
- Producidos por desintegración: como los generados por algas, polen, etc. Su origen está en campos de cultivo, sabanas, bosques tropicales, etc. El tamaño de las partículas de aerosol de este tipo es grande creando núcleos de condensación importantes.

- Aerosol carbonáceo. El origen de este se encuentra en las agregaciones de las sustancias que se forman en las combustiones y que producen hollín que contiene grafito (con alta absorción de radiación) y derivados orgánicos (con poca absorción de radiación).

- Aerosol volcánico. Este tipo de aerosol tiene su origen en las erupciones volcánicas. Estas erupciones llegan a la alta troposfera e incluso a la estratosfera. Las partículas están formadas por cenizas, polvo no soluble y gases reactivos ( $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $HCl$ ). Aunque su aparición es impredecible debido a la aleatoriedad de las erupciones volcánicas.

A partir de estos tipos de aerosoles genéricos o puros, se produce una mezcla de ellos en la atmósfera, lo que conlleva a que predominen unos u otros tipos en las diferentes zonas o regiones de la Tierra. Lo más común cuando se lleva a cabo el análisis del aerosol encontrado en una zona geográfica concreta, es que éste sea una mezcla de diferentes tipos y composiciones. Debido a esta mezcla, surge una gran dificultad en el estudio de estas partículas. Es cierto, que en determinadas regiones o en determinadas situaciones atmosféricas, exista una predominancia de unos tipos frente a otros, encontrando así un porcentaje muy alto de un determinado tipo de aerosol. Por ejemplo, un episodio muy frecuente tiene lugar debido a las intrusiones de aerosoles desérticos en la Península Ibérica (Cachorro et al., 2016), fenómeno conocido popularmente como calima.

En los estudios que se llevan a cabo sobre la relación de los aerosoles con el clima, se han definido los llamados “modelos climáticos de aerosoles”. Estos modelos, caracterizan a los aerosoles de diferentes zonas climáticas y son definidos por una serie de componentes básicos que los distinguen (Vergaz, 2001). Un ejemplo de modelo climático es el modelo OPAC (*Optical Properties of Aerosol and Clouds*) (Hess et al., 1998) definido por:

- Aerosol desértico. Este tipo de aerosol influye en gran medida en España debido a la proximidad tanto de las Islas Canarias como de la Península Ibérica al desierto del Sáhara y otras regiones áridas del norte de África, siendo estas dos últimas zonas las que originan principalmente este tipo de aerosol y cuya influencia es predominante también a nivel mundial. Este aerosol también se origina en zonas más alejadas como son las regiones áridas y semiáridas de Asia y Oriente Medio.

- Aerosol continental. Dentro de este tipo de aerosol encontramos tres tipos: continental puro (o rural), biogénico y urbano.

- Continental puro (o rural): este tipo de aerosol se denomina también continental limpio. Se encuentra en zonas continentales alejadas de fuentes de contaminación, como son los entornos rurales. Contiene principalmente polvo y sustancias solubles en agua.

- Biogénico: a veces conocido como forestal, es típico de selvas. Está altamente cargado de componentes generados biológicamente, de ahí su nombre.

- Urbano: se forma al mezclar el aerosol continental puro (o rural) con aerosol proveniente de zonas más industrializadas. Está formado por una mezcla de humo, polvo, y partículas de aerosol solubles en agua, cuyos componentes básicos son: nitratos; sustancias que contienen azufre y carbono; polvo mineral y cenizas. Este tipo de aerosol se encuentra en ubicaciones geográficas con un alto grado de polución antropogénica. Además de las plantas industriales pueden originar este tipo de aerosol las áreas residenciales, el tráfico, y algunas actividades rurales como es la quema de vegetación.

- Aerosol marítimo. Como se había mencionado al hablar de partículas marinas, dentro de la clasificación de tipos de aerosol dependiendo de las fuentes que las hubiesen originado, en la superficie de la Tierra al estar las dos terceras partes formadas por mares y océanos, este tipo de aerosol es el más abundante en el planeta y también en España debido a su situación geográfica. Por ello es el más importante a nivel climatológico. Está formado por sustancias solubles en agua (99,96 %) y por partículas salinas (0,04 %). Se distinguen tres tipos: limpio, mineral y polucionado.

- Limpio o puro: el aerosol está formado por partículas originadas por la actividad biológica mezclado con sulfatos y partículas salinas. Se origina en masas de aire que permanecen el tiempo suficiente sobre una zona del océano abierto, muy alejado de cualquier costa.

- Mineral: este aerosol se forma a partir de la mezcla del aerosol limpio o puro y el aerosol de origen desértico producido en regiones áridas. El tamaño de las partículas de este tipo de aerosol está en el intervalo [0,1, 5]  $\mu m$ .

- Polucionado: este aerosol se forma junto a regiones costeras muy industrializadas, como consecuencia de la mezcla del aerosol de tipo urbano y del limpio o puro, lo que lleva a un reparto de tamaños de las partículas de aerosol limpio distinto al que tenía originalmente.

- Aerosol ártico. Las partículas de este tipo de aerosol tienen su origen en el norte de Europa y Asia, así como en los océanos que las circundan. Su presencia se debe a la localización del frente polar. En el invierno este se sitúa en latitudes bajas, lo cual permite la entrada de masas de aire provenientes del norte de Europa. En el verano el frente polar está en latitudes altas y evita ese intercambio de aire.

Las masas de aire ártico suelen llegar con poca carga de partículas de aerosol, y están compuestas por una mezcla de aerosol marino y mineral.

### 5.1.3. Ejemplos concretos

Una vez visto los distintos tipos de aerosol que podemos encontrarnos, cabe hablar más en profundidad de dos de los tipos de aerosol más comunes en la atmósfera del territorio español. Estos son el aerosol desértico y el aerosol producido por la combustión de biomasa.

Veremos ejemplos de la presencia de estos dos tipos de aerosol en la Península Ibérica.

- **Aerosol desértico**

Vamos a ver algunos tipos concretos de aerosol, ya que estos influyen considerablemente en el clima del territorio español debido a la proximidad, del desierto del Sáhara y de otras regiones áridas del norte de África, del territorio español. Por ello estas zonas constituyen la fuente principal de emisión de este tipo de aerosol.

Además el Sáhara constituye la principal fuente de polvo mineral en la Tierra. Este tipo de aerosol es originado por la convección sobre zonas desérticas calientes. Las partículas de aerosol son transportadas debido a la influencia de las masas de aire, las cuales pueden llegar a transportar este tipo de aerosol a largas distancias, aproximadamente de miles de kilómetros.

La importancia de este tipo de aerosol, en la región mediterránea por ejemplo, radica en que este representa una de las fuentes principales de nutrientes para el fitoplancton y otros organismos acuáticos.

Desde 1970, los eventos de polvo mineral, con origen en las zonas de África ya mencionadas, han empeorado debido a los períodos de sequía en África.

Un ejemplo de este tipo de evento detectado en la Península Ibérica, provocando un fenómeno bien conocido denominado calima, ha sido observado en Valladolid a lo largo de varios días seguidos en la última semana de marzo de 2021. En la Figura 4 se puede observar la intrusión en la Península Ibérica de polvo procedente de África, observándose como una pequeña capa de polvo sobre la Península.



Figura 4. Imagen del sensor SeaWIFS sobre el norte de África y la Península Ibérica del 31 de marzo de 2021.

El efecto que produce el fenómeno de la calima, es la disminución en mayor o medida de la visibilidad, así como la aparición de molestias en ojos, nariz y garganta. En el caso de que se produzcan precipitaciones, cuando tiene lugar este fenómeno, éstas producen una limpieza de las masas de aire, que arrastra el aerosol produciéndose las lluvias de barro o lluvias rojas, muy frecuentes en la zona del Mediterráneo.

- **Aerosol producido por combustión de biomasa**

Este tipo de aerosol no aparece como tipo fundamental en el modelo OPAC, muchas veces está asociado a los tipos continental rural y urbano.

El origen de este tipo de aerosol se centra principalmente en los incendios forestales, a partir de los cuales se producen enormes aportes a la atmósfera de este tipo de partículas. Para caracterizar este tipo de aerosol se determina el tipo de combustible, así como la edad del aerosol y la humedad de éste.

Los grandes incendios de origen agrario, como los que se realizan en cada primavera en grandes extensiones del este de Europa, originan grandes masas de humo que se desplazan por toda la atmósfera, llegando a alcanzar incluso regiones remotas del ártico. Este tipo de prácticas están prohibidas en la Unión Europea.

Este tipo de aerosol se caracteriza por ser transportado a largas distancias y por permanecer en la atmósfera durante largos periodos de tiempo, debido a que el tamaño de sus partículas es muy pequeño, entre  $0,1 \mu m$  y  $1 \mu m$ .

Un ejemplo de este tipo de evento producido en la Península Ibérica, y detectado en la ciudad de Valladolid, fue el que se produjo durante los primeros días de agosto de 2017. Durante la época del verano los incendios son frecuentes, por lo que no es extraño observar este tipo de eventos. Las masas de aire transportaban cenizas procedentes de algún incendio hasta la ciudad de Valladolid. Durante los días previos, 3 y 4 de agosto, estaban teniendo lugar fuertes incendios en la zona sur de la provincia de Orense, justo en el límite con Portugal (ver Figura 5), por lo que el origen de las partículas estaba en la Península. Las masas de aire procedentes de la zona Noroeste de la Península, habían transportado estas partículas hasta las estaciones de medición ubicadas en Valladolid, donde fueron detectadas a partir de su medición (Herrero, 2019).

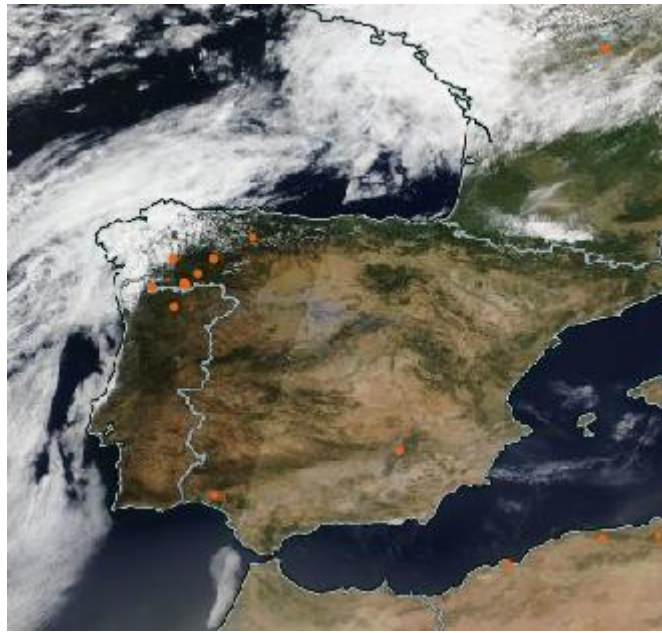


Figura 5. Imagen del satélite MODIS sobre la Península Ibérica del 4 de agosto de 2017, en la que los puntos en rojo identifican los incendios que estaban teniendo lugar.

#### 5.1.4. Redes de medida de los aerosoles

La medida de las partículas de aerosol y su influencia sobre la calidad del aire de una zona geográfica concreta, corre a cargo de las redes de calidad del aire automáticas y locales, de los municipios y ciudades. Aparte está el estudio de los aerosoles desde una perspectiva de investigación científica.

Las Comunidades Autónomas y las Entidades Locales, según sus competencias establecidas en la legislación vigente, son responsables de gestionar las redes de medición de datos de calidad del aire.

Actualmente en España, las redes de vigilancia de la calidad del aire cuentan con más de 6.000 estaciones de medición fijas, distribuidas por toda la geografía española. En la página de AEMet (Agencia Estatal de Meteorología, <http://www.aemet.es/es>) se puede consultar la información en tiempo real de las estaciones de la red así como información que proporciona una descripción de las estaciones y de los datos que han obtenido éstas a lo largo de su existencia.

Las partículas o aerosoles atmosféricos dentro de las redes de calidad del aire, se clasifican a través de los modos PM10 (gruesa) y PM2.5 (fina). Se define el PM10 como la concentración en masa de las partículas cuyo diámetro es igual o menor de 10  $\mu m$ , expresadas en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu g/m^3$ ). Por otro lado, tenemos las partículas cuyo diámetro es igual o menor de 2,5  $\mu m$ , que constituyen el modo PM2.5.

Además de diferenciarse por el tamaño se diferencian por la composición y las fuentes que las han originado. Las partículas del modo PM2.5 tienen un origen, principalmente, antropogénico. Mientras que las partículas del modo PM10 están compuestas principalmente de partículas de origen natural.

Las mediciones de la calidad del aire se notifican como concentraciones medias diarias o anuales de partículas PM10 y PM2.5, aunque en los paneles que existen en muchas ciudades podemos ver estas concentraciones en tiempo real o valores instantáneos (<https://www.valladolid.es/es/rccava>).

La medida de las concentraciones de PM10 y PM2.5 se utilizan para determinar el Índice Nacional de Calidad del Aire (ICA), además de medir otros contaminantes: ozono troposférico ( $O_3$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y dióxido de azufre ( $SO_2$ ). En función de los valores registrados para cada uno de los contaminantes, se establecen seis niveles para la categoría de dicho índice (buena, razonablemente buena, regular, desfavorable, muy desfavorable y extremadamente desfavorable); a cada una de las categorías del índice se le asocia un color (Figura 6), según la escala de colores establecida por la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad el Aire.

SO <sub>2</sub>		PM2,5		PM10		O <sub>3</sub>		NO <sub>2</sub>		CATEGORÍA DEL ÍNDICE
0	100	0	10	0	20	0	50	0	40	BUENA
101	200	11	20	21	40	51	100	41	90	RAZONABLEMENTE BUENA
201	350	21	25	41	50	101	130	91	120	REGULAR
351	500	26	50	51	100	131	240	121	230	DESFAVORABLE
501	750	51	75	101	150	241	380	231	340	MUY DESFAVORABLE
751-1250		76-800		151-1200		381-800		341-1000		EXTREMADAMENTE DESFAVORABLE

Figura 6. Bandas de concentraciones de contaminantes presentes en la atmósfera y categorías por código de colores del Índice de calidad del aire. Los valores de todos los contaminantes de la tabla están expresados en  $\mu g/m^3$ . (Boletín Oficial del Estado, Orden TEC/351/2019 de 18 de marzo).

El Índice de calidad del aire incorpora recomendaciones sanitarias para la población en general y para la población sensible, estando éstas en línea con las recomendaciones sanitarias del índice de calidad del aire europeo. La población sensible incluye tanto a adultos como a niños con problemas

respiratorios como a adultos con afecciones cardiacas. Esto puede ser consultado en la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad el Aire.

Por todo ello, este índice ayuda a representar la calidad del aire a nivel nacional de una manera fácilmente entendible por los ciudadanos y a la que pueden acceder de una forma sencilla y clara. Asimismo, permite la comparación de la calidad del aire entre diferentes regiones. Este índice también facilita el intercambio de información con la Unión Europea.

Independientemente de si la procedencia de las partículas de aerosol es de origen natural o antropogénico, niveles superiores a 50 microgramos por metro cúbico, durante un periodo de 24 horas, son perjudiciales para la salud e implican que se deba dar una alerta por parte de las autoridades civiles. Las principales instituciones internacionales, como la OMS (Organización Mundial de la Salud) o la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA), han reconocido que la inhalación de contaminantes representa un riesgo de muerte prematura, especialmente si estas partículas tienen tamaños pequeños entre 0,1  $\mu m$  y 1  $\mu m$ .

## 5.2. *Los aerosoles y la salud*

Como se ha dicho anteriormente, cuando se introdujeron los diferentes tipos de aerosol, la mayoría de los éstos son de tipo abiótico, formados por componentes que no proceden en general de materia viva u orgánica. En el caso de estudio de este tipo de aerosol, se abordan temas como su origen, los efectos contaminantes que producen en los ecosistemas, la salud, etc. También existen aerosoles de tipo biótico, como por ejemplo, las partículas que proceden de pólenes, esporas, materia orgánica seca, etc.

Hay una característica importante de los aerosoles que hace que sus efectos sobre la salud en algunos casos se consideren positivos y en otros negativos, esta es, el tamaño de las partículas por las que están compuestos. Las pequeñas partículas tienen la capacidad de penetrar en los pulmones y llegar al torrente sanguíneo.

En este apartado vamos a relacionar directamente el tema de los aerosoles con los efectos que tienen estos sobre la salud. Es importante destacar que estos efectos pueden ser, como ya se ha mencionado, positivos y negativos.

### - **Efectos positivos**

Los efectos positivos de los aerosoles en el ámbito de la salud, nos lleva a hacer un estudio más detallado de éstos en campos como son la medicina y la farmacia.

No es muy común encontrar medicamentos que vengan exclusivamente en aerosol, pero sí hay muchos que resultan más efectivos en esta presentación, por ejemplo los que se utilizan en tratamiento tópicos para golpes y torceduras.

La especialidad de la medicina que más utiliza medicamentos cuyo envasado es mediante aerosoles es la neumología, encargada del estudio de las enfermedades del aparato respiratorio, centrandó su campo de actuación en el diagnóstico tratamiento y prevención de las enfermedades del pulmón, la pleura y el mediastino.



Los productos más comunes que administra un neumólogo son los broncodilatadores. Estos incrementan el volumen de las vías aéreas haciendo con ello más fácil la respiración. Se utilizan para tratar síntomas del broncoespasmo en enfermedades como la EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica) o el asma.

El envasado de aerosoles en medicina tiene sus particularidades. Existen tres tipos (ver Figura 7) de dispositivos para suministrar los fármacos en forma de aerosol, estos son:

- Nebulizadores: suministran mayor cantidad de medicamento sobre el tejido pulmonar.
- Inhaladores dosis medida: son usados para administrar broncodilatadores.
- Inhaladores de polvo seco monodosis o multidosis: compactos, portátiles y fáciles de usar. Son dependientes del flujo respiratorio, por lo que requieren una exhalación prolongada antes de su inhalación.



Figura 7. De izquierda a derecha: nebulizadores, inhaladores dosis medida, inhaladores de polvo seco monodosis.

#### - **Efectos negativos**

Los efectos negativos sobre la salud vienen dados a partir de la contaminación atmosférica, en una zona geográfica concreta, provocada por las partículas de aerosol atmosférico allí presentes. Es un fenómeno conocido y estudiado desde antiguamente.

El sistema respiratorio constituye la principal vía de entrada del material particulado en el organismo. Por lo que una atmósfera cargada de partículas de aerosol puede provocar o agravar problemas de salud en las personas, que pueden ir, desde alteraciones de la función pulmonar, problemas cardíacos y otros síntomas y molestias, hasta un aumento del número de muertes e ingresos hospitalarios debido a causas respiratorias y cardiovasculares.

Los efectos de la exposición al material particulado atmosférico se observan tanto en episodios de contaminación crónicos como agudos. Ambos tipos de episodio conllevan un aumento en los ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

En estudios llevados a cabo sobre los efectos negativos de la contaminación atmosférica sobre la salud (Viana, 2003), los niveles de material particulado han sido caracterizados de diferentes

formas, incluyendo la concentración en masa total (partículas en suspensión totales, PM), la concentración de algunas de sus fracciones (PM10, PM2.5, PM1), la composición química (sulfatos, nitratos, etc.) o la concentración de black carbon (BC). Según los resultados, a modo de ejemplo, en Austria, Suiza y Francia, el 6% de las muertes anuales (aproximadamente 40.000 muertes por año) pueden ser por causa de la contaminación por partículas atmosféricas (Künzli et al., 2000).

Todas las partículas de diámetro menor de  $10\ \mu\text{m}$  (PM10, partículas torácicas) tienen un tamaño suficiente para penetrar en la región traqueobronquial, pero sólo aquellas de diámetro menor de  $2,5\ \mu\text{m}$  pueden alcanzar la cavidad alveolar (ver Figura 8), y por tanto, provocar mayores afecciones (Viana, 2003).

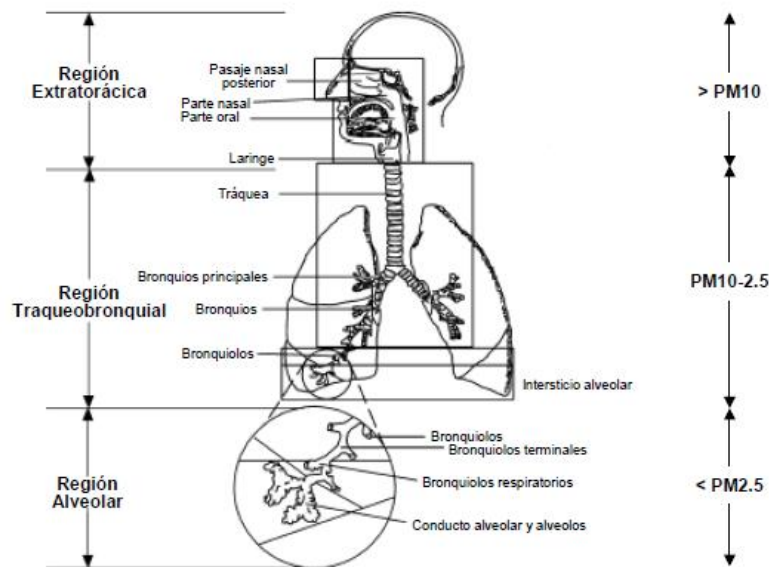


Figura 8. Representación de las diversas regiones del aparato respiratorio humano (Viana, 2003).

Dejando de lado el diámetro de las partículas de aerosol, los efectos en la salud de este material particulado atmosférico dependen de su composición química. Actualmente, aunque se tengan algunas incertidumbres acerca de los efectos que provocan sobre la salud determinadas especies químicas, la mayoría de estudios apunta a que el mayor impacto en la salud viene causado por las partículas de carbono elemental, compuestos orgánicos, sulfatos y nitratos, partículas menores de  $0,1\ \mu\text{m}$  y determinados metales (arsenio, cadmio, hierro, zinc, níquel, etc). La gran mayoría de estas partículas de aerosol tienen un diámetro inferior a 2,5 micras, por lo que son partículas del tipo PM2.5, las que contribuyen en gran medida a incrementar los efectos adversos sobre la salud de las personas, provocando con ello enfermedades.

Por todo ello la reducción de la contaminación del aire, en cuanto a partículas de aerosol se refiere, se asocia con un aumento de la esperanza de vida de la población.

Uno de los efectos negativos de las partículas de aerosol sobre la salud, es el que se relaciona con la **transmisión del SARS-CoV-2** a través de estas partículas. Es un efecto de plena actualidad, tratado desde que se inició la actual situación sanitaria en la que vivimos provocada por la COVID-19. Debido al tamaño de las partículas de aerosol, estas son portadoras, entre otras cosas, de partículas de menor tamaño como son los virus, microvirus, etc. Para hablar de la relación

existente entre aerosoles y coronavirus, hay que remontarse a las evidencias científicas que se han ido desarrollando a lo largo de la pandemia, remontándose para ello al inicio de ésta.

Al inicio de la pandemia, se pensaba que los aerosoles sólo participaban en la transmisión del virus en entornos muy concretos, como por ejemplo, en el ámbito médico, cuando se realizaban ciertas pruebas que provocaban la liberación abundante de aerosoles. Este punto de vista, era defendido por varias autoridades sanitarias, entre ellas la OMS (Organización Mundial de la Salud). Debido a esto, al comienzo de la pandemia, el debate se centraba en la utilidad de las mascarillas en la población en general, desaconsejando su utilización en la población que estuviera sana, por instituciones sanitarias como la OMS.

A medida que transcurría el tiempo, las evidencias científicas sobre la dispersión de aerosoles y su papel en la transmisión del coronavirus fuera de los hospitales y centros de salud, fueron en aumento. Debido a estas evidencias, el debate se centró entonces en el papel que jugaban los aerosoles en la transmisión del virus, fenómeno conocido como “transmisión aérea”, y si éstos estaban relacionados con el número creciente de contagios y brotes activos.

Actualmente, la vía aérea como fuente de contagio de la COVID-19 por los aerosoles presentes en el ambiente, ha sido descrita como la más importante y fundamental para la transmisión de la enfermedad. Por lo que se ha enfatizado la necesidad de una buena y constante ventilación en lugares cerrados, como acción fundamental para la protección de la población, para así reducir al mínimo la transmisión por aerosoles del virus.

La transmisión de los virus respiratorios entre seres humanos puede producirse de dos modos (ver Figura 9):

- Por contacto: ya sea directo (apretón de manos) o indirecto (por un objeto tocado por una persona contagiada).
- Por el aire: a través de las microgotas exhaladas al respirar o hablar, o por gotas provocadas por tos o estornudo.

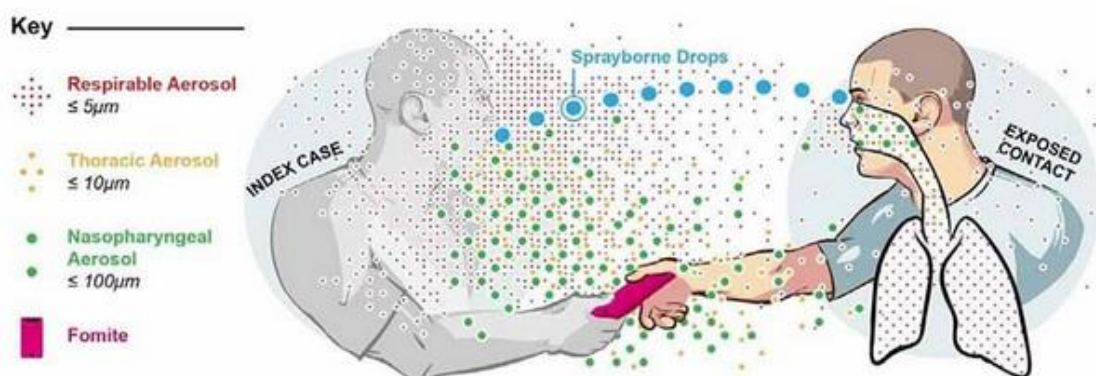


Figura 9. Modos de transmisión del SARS-CoV-2, ilustrando los diferentes tamaños de las partículas de aerosol.

El tamaño de las miles de microgotas que exhala una persona al hablar y respirar, cuyo diámetro es aproximadamente de  $1 \mu m$ , provoca que cada una de estas microgotas pueda contener decenas o centenares de virus, ya que el diámetro del SARS-CoV-2 es aproximadamente

de 0,1  $\mu\text{m}$ . En un estudio experimental realizado por científicos estadounidenses, determinaron que el SARS-CoV-2 se puede detectar en aerosoles, hasta después de tres horas de su emisión, pero con una carga viral que disminuye bruscamente con el tiempo.

En entornos cerrados, las microgotas o los sólidos residuales provocados por las gotas evaporadas pueden permanecer largo tiempo en suspensión. Las gotas de menor diámetro permanecen suspendidas en el aire un tiempo mayor, sobre todo en ambientes contaminados, donde estas gotas se juntan con las partículas existentes en el aire. Por ello, en entornos cerrados la mascarilla se convierte en un elemento de protección indispensable. En entornos abiertos las masas de aire dispersan las gotas y microgotas, evaporándose y por tanto desactivando, con ello, el virus, al presentar una concentración de las mismas muy pequeña.

### 5.3. *Los aerosoles y los microplásticos*

Los aerosoles procedentes de plásticos, microplásticos o nanoplásticos (o los ya producidos como tales), forman un tipo de aerosol muy particular y también muy desconocido en el ámbito del estudio de los aerosoles. Apenas se conocen sus concentraciones en la atmósfera porque ni siquiera se ha diseñado un procedimiento reconocido para su medida en el campo científico, así como se desconocen muchas de sus características y comportamientos, como su transporte o permanencia en la atmósfera, su interacción con otro tipo de aerosoles en la atmósfera o en otros medios, etc. Es un nuevo campo de investigación en el estudio de los aerosoles.

Se estima que la producción mundial de plástico superó en 2017 los 350 millones de toneladas y que más del 40% de estas se utilizaron como productos desechables, o de un solo uso. Las fuentes principales de residuos plásticos a considerar provienen de: bolsas y envases, campos artificiales de deporte, degradación de neumáticos, pellets, pinturas, barnices, tintas, productos de cosmética, productos de limpieza y productos textiles.

Los principales aspectos a tener en cuenta en el estudio de los residuos de origen plástico son: su composición química, el tamaño de las partículas, el grado de solubilidad de éstos en el agua y la capacidad de persistencia de éstos en el medioambiente.

Los residuos plásticos expuestos a la radiación ultravioleta (UV) del sol se fotodegradan, produciendo una división en los enlaces químicos del material por los que está formado el residuo debido al proceso de oxidación, provocando con ello que el plástico se vuelva frágil. Se suma a esto, que debido a la exposición al sol, en combinación con el viento, la acción de las olas (en ambientes marinos) y la abrasión, provoca que los residuos se fragmenten generando microplásticos y nanoplásticos (Delgado, 2019).

La diferenciación entre los microplásticos y nanoplásticos viene dado por el tamaño de éstos. El residuo se considera microplástico cuando el diámetro de los fragmentos alcanza un tamaño inferior a 5 milímetros (mm). Aunque aún se debate a partir de qué tamaño puede considerarse microplásticos, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) utiliza el parámetro de menos de 5 mm de diámetro para clasificarlos (Arthur et al., 2009). Por el momento, se ha observado que donde causan mayor impacto es en los océanos, por ello se ha tomado este tamaño a partir del cual se consideran microplásticos. En un futuro se hará otra clasificación cuando se sepa más sobre el impacto de éstos sobre la calidad del aire de la atmósfera. Los microplásticos son un grupo de materiales sintéticos que están hechos de polímeros derivados de petróleo o de base biológica. Son

partículas sólidas, de tamaño inferior a 5 mm, que no son solubles en agua y su degradabilidad es baja. En el caso de los nanoplásticos el diámetro de los fragmentos tiene un tamaño inferior a 100 nm (Bergmann et al., 2019).

En la Figura 10 se muestra la clasificación de los microplásticos, que han realizado algunos investigadores, en función de sus formas (Hidalgo-Ruz et al., 2012). Los han clasificado en: microperlas, nurdles, fibras, espuma y fragmentos.

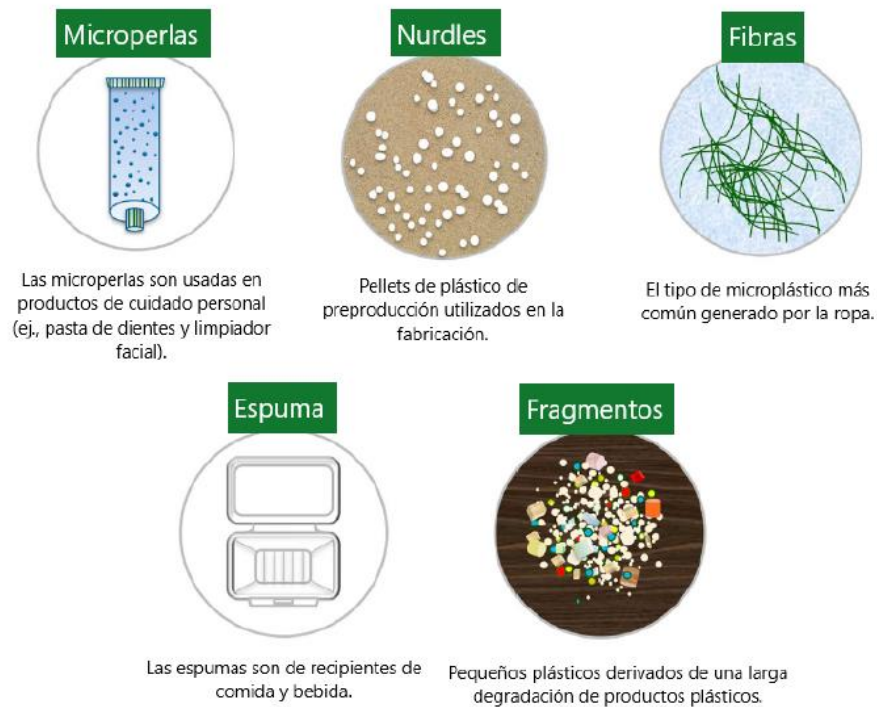


Figura 10. Categorías y fuentes de microplásticos en el medioambiente (Hidalgo-Ruz et al., 2012).

Estos microplásticos se encuentran presentes en las partículas de aerosol de los modos PM, anteriormente explicados. Las fuentes que emiten este tipo de materiales están aumentando (por ejemplo, la ropa sintética), pudiendo provocar con ello un incremento de la concentración de éstos en el medioambiente. Debido a este aumento, los microplásticos podrían llegar a convertirse en una fracción importante de las partículas PM en las próximas décadas (Padilla, 2020).

Hasta el momento, el estudio de los efectos adversos que tienen los microplásticos en la salud humana se había centrado en la captación de estas partículas por los seres humanos a través del consumo de productos alimentarios. Actualmente, numerosos estudios se están centrando en el estudio del transporte de grandes cantidades de microplásticos por la atmósfera, mostrando el impacto de éstos sobre el medioambiente. A raíz de estos estudios, se están abriendo nuevas líneas de investigación para determinar en qué medida pueden ser estos residuos inhalados por los seres humanos, afectando con ello negativamente sobre la salud.

A continuación se muestran algunos ejemplos de estudios climáticos, en los cuales se ha comprobado la presencia de microplásticos en regiones remotas. Observando cómo éstos han llegado hasta esas regiones viajando a través de la atmósfera y depositándose finalmente sobre regiones muy

alejadas de la fuente que los emitió originalmente. Una de las investigaciones que vamos a señalar, a modo de ejemplo, se ubicó en los Pirineos franceses y la otra en el Ártico.

- **Pirineos franceses**

Las principales conclusiones de un estudio (Allen et al., 2019) llevado a cabo en los Pirineos franceses fue publicado en la revista Nature Geoscience, para acercar lo que estaba ocurriendo allí a la población. En él, se comprobaba que los microplásticos viajan a través de la atmósfera para terminar depositándose en regiones muy alejadas de su fuente de emisión original.

En este estudio, encontraron en la región de los Pirineos franceses grandes cantidades sustanciales de microplásticos y residuos de fibra. El diámetro de las partículas que hallaron en esta región era menor de 5 mm, por lo que muchas de ellas no eran visibles a simple vista. Calcularon que eran 365 partículas por metro cuadrado las que se depositaban diariamente en dicha región. Para dar una explicación de cómo habían llegado esas partículas hasta allí, a partir de simulaciones atmosféricas, demostraron que éstas habían recorrido por la atmósfera distancias de cientos de kilómetros.

Con esta investigación, se llegó a la conclusión de que el transporte atmosférico era una vía importante por la cual los microplásticos pueden alcanzar e impactar sobre el ecosistema de regiones remotas, alejadas de la fuente de emisión original de los mismos. Abriendo con ello una nueva línea de investigación, basada en la deposición en nuestro organismo de estos materiales a través de la inhalación de grandes cantidades de plástico presentes en la atmósfera.

- **Ártico**

Las conclusiones obtenidas de un estudio realizado en el Ártico (Bergmann et al., 2019), fueron similares a las que se obtuvieron en la investigación ubicada en los Pirineos franceses.

Un grupo de expertos del instituto Alfred Wegener (AWI) y el instituto suizo WSL de Investigación sobre Nieve y Avalanchas SLF, han demostrado que el transporte de microplásticos tiene lugar a grandes distancias por la atmósfera y su deposición se produce sobre la superficie de la región del Ártico. Las partículas han sido depositadas por medio de la precipitación, nieve principalmente. Por ello se ha llegado a la conclusión de que estos microplásticos anteriormente a su precipitación estaban presentes en la atmósfera.

En esta investigación se ha observado cómo las concentraciones encontradas en el Ártico eran mayores que en el caso de estudio realizado en los Pirineos franceses. Las razones de esto pueden ser, debido a que las precipitaciones en forma de nieve son muy eficientes a la hora de arrastrar las partículas presentes en la atmósfera para posteriormente ser depositadas en la superficie de la tierra. Otra de las razones puede ser que la técnica utilizada en el estudio ubicado en el Ártico es mucho más minuciosa, ya que el aparato de medida utilizado para determinar el tamaño de las partículas es capaz de detectar partículas con diámetro por debajo de 11  $\mu m$ .

En el Ártico el tipo de plásticos que se encontraron en este estudio, y que son los que habitualmente se encuentran allí son: goma de nitrilo, acrilatos y pintura con contenido plástico.

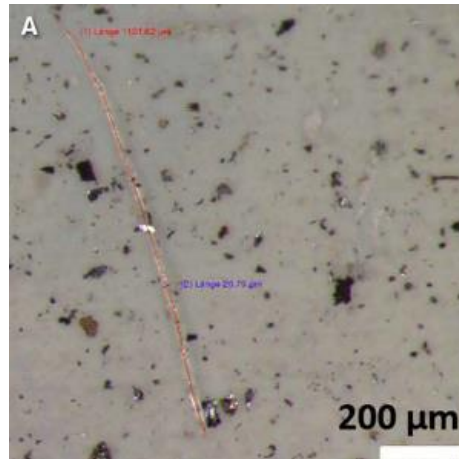


Figura 11. Fibra de poliestireno encontrada en el archipiélago de las islas Svalbard, pertenecientes a Noruega (Bergmann et al., 2019).

La conclusión de esta investigación fue el pleno convencimiento de que una gran parte de los microplásticos que se encuentran en la superficie terrestre, proceden de la atmósfera, y concretamente en la región del Ártico son depositados en la superficie a través de la precipitación en forma de nieve.

Con este estudio se abre una nueva línea de investigación, como en el caso de la investigación llevada a cabo en los Pirineos franceses, centrada en la medida en que estos residuos pueden ser inhalados por los seres humanos afectando con ello negativamente sobre su salud.



## 6. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

### 6.1. Contenidos

En este apartado se citan los contenidos curriculares que se van a trabajar y los que se pretende que el alumnado comprenda y asimile para lograr obtener un aprendizaje sobre los aerosoles atmosféricos y la relación de éstos con diferentes factores.

Los contenidos que se van a trabajar no se encuentran dentro de la Orden EDU 362/2015 BOCYL, del 8 de mayo de 2015, por el que se establece la concreción autonómica del BOE en Castilla y León del currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), sobre la asignatura de Física y Química en los cursos de la ESO.

Esta propuesta se plantea como una propuesta de carácter transversal, y cuyos contenidos podrían, en un futuro, incluirse dentro de los contenidos que marca el currículo. En este caso, ha sido planteada, como una posible ampliación al proyecto de autonomía “Ferrari Diverso y Sostenible”.

Los contenidos que se van a trabajar durante la implementación de esta propuesta son los siguientes:

- Definición del aerosol atmosférico.
- Clasificación de los aerosoles atmosféricos si atendemos a diferentes factores: origen de las partículas que lo forman, tipo de fuentes que los generan y origen biológico.
- Formas y tamaños del aerosol atmosférico.
- Tipos de aerosoles según los componentes básicos que los distinguen. Modelo climático OPAC (*Optical Properties of Aerosol and Clouds*).
- Estudio de dos de los tipos de aerosol más comunes en la atmósfera del territorio español a través de dos ejemplos.
- Redes de medida de los aerosoles y la medición del Índice Nacional de Calidad del Aire.
- Efectos positivos y negativos que producen los aerosoles sobre la salud de los seres humanos.
- Relación de los aerosoles con la transmisión de la COVID-19 por vía aérea.
- Los aerosoles y los micro y nano-plásticos.
- Presencia de microplásticos en regiones remotas.

### 6.2. Competencias

A través de las siguientes competencias se logrará que los estudiantes adquieran una formación integral de forma personal, social y profesional. A cada una de ellas contribuyen los contenidos y conceptos tratados en la asignatura de Física y Química. *“Las competencias clave son aquellas que todas las personas precisan para su realización y desarrollo personal, así como para la ciudadanía activa, la inclusión social y el empleo”* (Boletín Oficial del Estado, Orden ECD/65/2015 de 21 de enero). Estas competencias son:

- a) Comunicación lingüística.
- b) Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.
- c) Competencia digital.



- d) Aprender a aprender.
- e) Competencias sociales y cívicas.
- f) Sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor.
- g) Conciencia y expresiones culturales.

Todas y cada una de estas competencias tienen una importante aportación a la formación del alumnado. La contribución de esta propuesta a la adquisición de algunas competencias citadas anteriormente se detalla a continuación:

- Competencia en comunicación lingüística: la configuración y la transmisión de las ideas e informaciones sobre los fenómenos naturales ponen en juego un modo específico de construcción del discurso, dirigido a argumentar o a hacer explícitas las relaciones, que se logrará adquirir desde los aprendizajes de esta materia, y concretamente durante esta propuesta. Por otra parte, la adquisición de la terminología específica sobre los fenómenos naturales hace posible comunicar adecuadamente una parte muy relevante de las experiencias humanas y comprender suficientemente lo que otros expresan sobre ellas. Esta competencia se trabaja en la actividad de debate, donde deberán, utilizar un lenguaje adecuado para comunicar sus argumentos, y en la actividad en la que realizarán una exposición oral mostrando los resultados y conclusiones a los que han llegado a través de la indagación e investigación.

- Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología: esta competencia forma parte de todos los contenidos de la materia de Física y Química. El mejor conocimiento del mundo físico requiere el aprendizaje de los conceptos y procedimientos esenciales de cada una de las ciencias de la naturaleza y el manejo de las relaciones entre ellos. Esta competencia requiere aprendizajes relacionados con el modo de generar el conocimiento sobre los fenómenos naturales. Es necesario para ello lograr la familiarización con el trabajo científico, para el tratamiento de situaciones de interés. Esta competencia se va a poner de manifiesto durante el desarrollo de toda la propuesta, ya que forma parte de todos los contenidos que van a ser tratados en ella.

- Competencia digital: es aquella que implica el uso creativo, crítico y seguro de las tecnologías de la información y la comunicación para alcanzar objetivos relacionados con el trabajo, el aprendizaje, el uso del tiempo libre, la inclusión y participación en la sociedad. El trabajo científico tiene también formas específicas para la búsqueda, recogida, selección, procesamiento y presentación de la información que se utiliza además en formas muy variadas: textual, numérico, icónico, visual, gráfico y sonoro. En esta propuesta se pondrá de manifiesto ya que el uso de estas tecnologías contribuye al aprendizaje de las ciencias para comunicarse, recabar información, retroalimentarla, simular y visualizar situaciones, así como para la obtención y el tratamiento de datos que se va a llevar a cabo durante su desarrollo.

- Aprender a aprender: supone iniciarse en el aprendizaje y ser capaz de continuarlo de manera autónoma. Esta competencia incluye una serie de conocimientos y destrezas que requieren la reflexión y la toma de conciencia de los propios procesos de aprendizaje. El aprendizaje a lo largo de la vida, en el caso del conocimiento de la naturaleza, se va produciendo por la incorporación de informaciones provenientes en unas ocasiones de la propia experiencia y en otras de medios escritos y audiovisuales. Esta competencia se va a poner de manifiesto a lo largo de toda la propuesta, con el objetivo de que al final de ésta el

alumnado haya adquirido un pensamiento crítico sobre el tema tratado y ser capaz de comunicarlo a los demás.

- Competencias sociales y cívicas: esta competencia consiste en entender el modo en que las personas pueden procurar un estado de salud física y mental óptimo, tanto para ellas mismas como para el entorno social que les rodea, y en concreto sus compañeros de clase. Esta competencia se fomenta en esta propuesta gracias a las actividades de trabajo que se llevan a cabo en grupos. En alguna de ellas, los alumnos tendrán que exponer sus ideas, argumentarlas y llegar a un consenso con los compañeros que forman el grupo. En este tipo de actividades se trabaja el respeto a los demás y la buena convivencia en el aula.

- Sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor: se refiere a la posibilidad de escoger con criterio propio y sacar adelante iniciativas, con el objetivo de que el alumnado vaya adquiriendo responsabilidad de sus actos y decisiones. Se pondrá de manifiesto durante las actividades que tienen que realizar por grupos cada uno de los alumnos.

### 6.3. *Elementos transversales*

En el centro, al cual va dirigido esta propuesta, se lleva a cabo una educación en valores. Todo esto engloba la educación en temas transversales. En la materia de Física y Química, las enseñanzas transversales se concretan a través del tratamiento de diferentes contenidos, de los contextos y situaciones donde se proponen las diferentes actividades, en los siguientes aspectos: educación vial, educación para la salud, educación para el consumidor, educación ambiental, educación audiovisual y tecnológica y educación moral y cívica.

La asignatura de Física y Química debe implicarse en el fomento de valores tales como el respeto hacia los compañeros e iguales, el profesorado y el personal del centro. Además, esta asignatura está directamente relacionada con el fomento entre el alumnado del respeto hacia el medioambiente.

Todo lo anterior se pondrá de manifiesto durante la implementación de esta propuesta didáctica. Se realizarán actividades de concienciación para respetar, el entorno natural que nos rodea, a través de nuestros actos.

A partir de la implementación de esta propuesta didáctica, los alumnos deberán reconocer las ventajas y los inconvenientes que producen las partículas de aerosol atmosférico, tanto en la salud como en el medioambiente.

Para llevar a cabo en esta propuesta una educación sobre temas ambientales, se identificará y reflexionará sobre los problemas relacionados con el medioambiente que existen actualmente, tanto locales como globales, con actitud crítica y constructiva. Además de identificar y valorar las acciones individuales y conjuntas relacionadas con el compromiso por el medioambiente.

Se hará especial hincapié en la importancia de seguir las directrices que marcan las instituciones superiores para frenar la propagación del SARS-CoV2, llevando con ello a cabo una enseñanza en educación para la salud.

En cuanto a las actividades de investigación, que realizarán los alumnos por grupos, reforzarán la transmisión de valores relacionados con la responsabilidad y el respeto a los demás. Esto último está relacionado con la educación moral y cívica, que se pondrá de manifiesto durante la implementación de esta propuesta, mostrando el alumnado una actitud participativa y colaborativa en las actividades que se realicen en grupo, valorando en todo momento como enriquecedoras las diferencias entre personas y manteniendo una actitud activa de rechazo ante cualquier tipo de discriminación.

#### *6.4. Diseño de las sesiones*

A continuación se van a diseñar las sesiones en las que se va a impartir los contenidos anteriormente citados, además de realizar en alguna de las sesiones actividades prácticas sobre los contenidos que se hayan tratado en la parte teórica de esa sesión o de sesiones anteriores.

La propuesta se va a llevar a cabo en 5 sesiones. Las sesiones tienen una duración de 50 minutos, como cualquier sesión de las diferentes asignaturas que se imparten en el centro.

Con el objetivo de que los contenidos se desarrollen consecutivamente y no haya un intervalo de tiempo demasiado amplio entre cada una de las sesiones destinadas a implementar la propuesta, donde los alumnos podrían olvidar todo lo que se ha tratado en sesiones anteriores, se ha decidido llevarla a cabo, en un periodo que abarque dos semanas consecutivas.

Para cada una de las sesiones se especificarán los contenidos que van a ser trabajados en ella, en caso de realizarse, las actividades que se lleven a cabo en cada una de ellas, detallando tanto los objetivos de éstas así como de qué trata cada una de ellas. A cada una de las partes en las que se subdivide cada sesión se le asignará una temporalización, que podrá ser modificada cuando la propuesta sea llevada de forma práctica al aula, en caso de que las condiciones que se den durante su implementación lo requieran o lo considere el profesor que la lleve a cabo.

Antes de empezar la primera sesión sobre la propuesta didáctica planteada en el anterior epígrafe, los alumnos han realizado en los últimos quince minutos de una sesión de clase de Física y Química una encuesta previa, con el objetivo de saber los conocimientos que tienen éstos sobre los contenidos que se van a tratar a lo largo de la propuesta. El objetivo es realizar una encuesta anónima durante una sesión de clase para conocer cuáles son los conocimientos que tienen los alumnos sobre el tema que se va a tratar, sin que puedan consultar información por internet o preguntarles a sus familiares alguna de las preguntas que aparecen en ella. Dicha encuesta, los resultados de ella y un breve análisis de éstos, se encuentra en el Anexo del presente trabajo.

#### ❖ **PRIMERA SESIÓN**

Los contenidos que se van a trabajar en la primera sesión son los siguientes:

- Definición del aerosol atmosférico.
- Clasificación de los aerosoles atmosféricos si atendemos a diferentes factores: origen de las partículas que lo forman, tipo de fuentes que los generan y origen biológico.
- Formas y tamaños del aerosol atmosférico.
- Tipo de aerosoles según los componentes básicos que los distinguen. Modelo climático OPAC.

En esta sesión el profesor impartirá los contenidos teóricos anteriormente citados. Para introducir éstos se visualizará un vídeo.

Los recursos necesarios para llevar a cabo esta sesión serán la pizarra digital o pantalla blanca y un proyector. Los recursos personales serán los alumnos que integran el aula y el profesor que esté llevando a cabo el desarrollo de esta sesión.

Para comenzar esta sesión se procederá a dar una breve introducción de los aerosoles atmosféricos. En esta introducción a la propuesta, se explicarán los dos primeros contenidos, relacionados con la definición de aerosol atmosférico y las diferentes clasificaciones que podemos dar de éste dependiendo a qué factor atendamos.

Para llevar a cabo esta introducción se mostrará el siguiente vídeo del canal “NASA Climate Change” llamado “My name is aerosol”, <https://www.youtube.com/watch?v=4eh6IKahbok> . Con la visualización de éste se dará por concluida la introducción al tema y el profesor dará comienzo a la explicación de los siguientes contenidos.

El profesor desarrollará la explicación de los dos contenidos siguientes haciendo uso de la pizarra digital para mostrar imágenes relacionadas con éstos. Cuando desarrolle la explicación sobre las formas y tamaños del aerosol atmosférico mostrará las Figuras 1 y 2. Una vez haya explicado esto, mostrará la clasificación en diferentes modos de las partículas de aerosol atendiendo a las distribuciones modales de tamaños de estas partículas, para ello se mostrará la Figura 3, en la que se pueden observar tanto los modos como la clasificación por tamaños de las partículas PM.

En cuanto a la explicación de los componentes básicos que distinguen a los diferentes tipos de aerosol se llevará a cabo un desarrollo teórico del mismo. En todo momento se dejará claro, que normalmente lo que se encuentra en la atmósfera del aire es una mezcla de aerosoles, no un tipo concreto aislado.

## ❖ **SEGUNDA SESIÓN**

Los contenidos que se van a trabajar en la segunda sesión son los siguientes:

- Estudio de dos de los tipos de aerosol más comunes en la atmósfera del territorio español a través de dos ejemplos.
- Redes de medida de los aerosoles y la medición del Índice Nacional de Calidad del Aire.

Esta sesión está dividida en dos partes, la primera de ellas destinada a desarrollar contenidos teóricos por el profesor, y la segunda parte está destinada a la realización de una actividad en la que se trabajará los contenidos vistos en la primera parte.

Esta sesión se va a llevar a cabo en la sala de ordenadores del centro, ya que estos dispositivos serán necesarios para la realización de la actividad. Por lo tanto, los recursos necesarios son los ordenadores con los que cuenta esta sala, así como una pantalla blanca y un proyector mediante los cuales el profesor llevará a cabo la explicación teórica. Los recursos personales serán los alumnos que integran el aula y el profesor que esté llevando a cabo el desarrollo de esta sesión.

En la primera parte de esta sesión, aproximadamente durante los 15 primeros minutos, el profesor va a mostrar al alumnado ejemplos concretos de distintos tipos de aerosol que podemos encontrarnos en la atmósfera del territorio español. Estos son el aerosol desértico y el aerosol producido por

combustión de biomasa. Durante su explicación mostrará las Figuras 4 y 5 proporcionadas por el satélite MODIS.

A continuación, se introducirá la forma en la que se realizan las medidas del aire presente en la atmósfera, en las diferentes estaciones destinadas para ello, y qué es lo que se mide en ellas, introduciendo el concepto de Índice Nacional de Calidad del Aire. Y mostrándoles como el establecimiento de un índice, para medir la calidad del aire, es necesario si el objetivo es transmitir a la población un mensaje que consiga reducir el riesgo para su salud.

En la actualidad, una de las maneras más directas y con mayor potencial para contactar y conectar con la población general, y más con el alumnado de los centros educativos, es a través de las páginas webs y las aplicaciones móviles. Estas plataformas ofrecen mucha información y además en muchos de los casos ofrecen herramientas interactivas, con el objetivo de poder consultar información en cualquier momento.

Por ello, en la segunda parte de esta sesión, se ha decidido realizar una actividad haciendo uso de estos instrumentos informáticos. Los alumnos podrán entender mejor el concepto de dicho índice, trabajando éste a través de una metodología basada en la indagación científica.

#### ➤ **Actividad 1. Vigilantes del aire**

Esta actividad, incluida en la segunda parte de la segunda sesión de la propuesta, tendrá una duración de aproximadamente 30 minutos.

Una de las páginas webs que ha sido diseñada para albergar la información, y la cual va a ser utilizada como recurso informático para llevar a cabo esta actividad, tiene una ruta fácil para llegar a ella. Además es: fácilmente navegable, potente en el rendimiento para procesar alta demanda en días con alto riesgo, sencilla para incorporar nuevas funciones y funcional a largo plazo.

Los objetivos de esta actividad son:

- Comprender la importancia de la medición de la calidad del aire en las diferentes estaciones repartidas por todo el mundo.
- Fomentar el trabajo en grupo y ser capaces de transmitir información al resto de los alumnos de la clase explicando el resultado de sus investigaciones, consiguiendo así obtener un conocimiento de mejor calidad.
- Aprender cómo a través de los datos que se obtienen del mapa interactivo se puede concluir hechos importantes que afectan a la calidad del aire y a la salud de los seres humanos. Acercándoles con ello al trabajo diario que realiza un científico.
- Utilizar y fomentar el uso de las TICs en el alumnado.

Para llevar a cabo esta actividad los alumnos que integran el aula serán divididos en cinco grupos, aproximadamente cada uno de ellos con el mismo número de alumnos.

Los recursos necesarios para realizar esta actividad son una pizarra digital y proyector para que el profesor pueda dar las explicaciones oportunas sobre ella, además de ordenadores para cada uno de los cinco grupos que se formen en los cuales podrán consultar el mapa interactivo en el siguiente enlace web <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>. El mapa interactivo que se puede consultar en el anterior enlace se muestra en la Figura 12. También podrán consultar la información que les sea necesaria para desarrollar la actividad planteada con éxito.

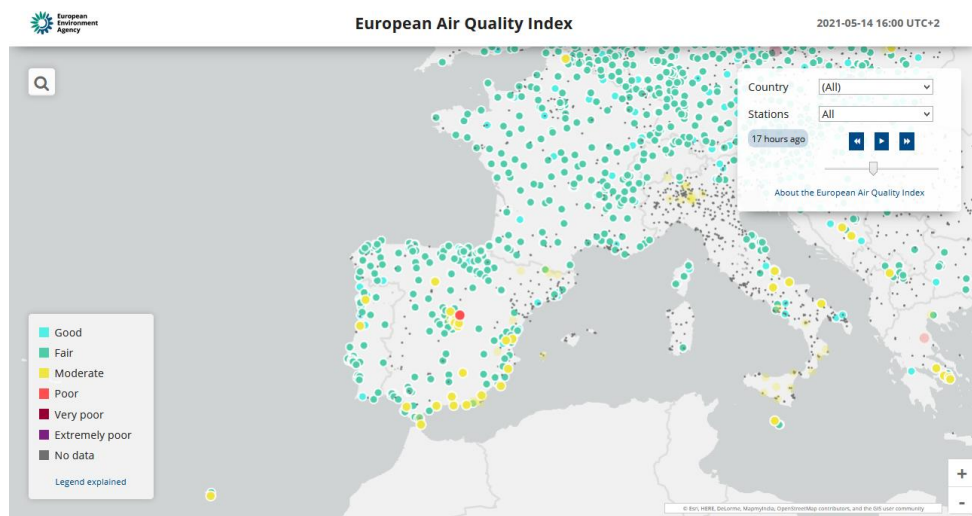


Figura 12. Mapa interactivo del Espacio Económico Europeo (EEA). Fuente: [airindex.eea.europa.eu](http://airindex.eea.europa.eu).

El valor del índice calculado en la aplicación web, se basa en valores de concentración de cinco contaminantes presentes en el aire. Estos son:

- Partículas cuyo diámetro es igual o menor de  $10 \mu m$ , que constituyen el modo PM10.
- Partículas cuyo diámetro es igual o menor de  $2,5 \mu m$ , que constituyen el modo PM2.5.
- Ozono ( $O_3$ ).
- Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ).
- Dióxido de azufre ( $SO_2$ ).

De forma predeterminada, el índice de calidad del aire muestra la situación de hace tres horas en cada una de las estaciones monitorizadas. Los usuarios pueden seleccionar cualquier hora en las 48 horas anteriores y ver los valores de pronóstico para las siguientes 24 horas.

El usuario puede filtrar la selección por país y por tipo de estación. El usuario sólo puede seleccionar estaciones de tráfico (*traffic stations*) o estaciones sin tráfico (*non-traffic stations*), es decir, estaciones industriales y de fondo.

En el mapa interactivo se establecen unos símbolos básicos para que el público que acceda a él, pueda deducir y relacionar fácilmente estas medidas con las recomendaciones asociadas a cada uno de los símbolos. En el caso de la simbología utilizada en España, la escala de colores es la más adecuada para la difusión del índice seleccionado, ya que la población está familiarizada con esta simbología desde la infancia y es utilizada en otros ámbitos, como por ejemplo semáforos. Además, los códigos de colores ayudan a comprender el nivel de riesgo, ya que están tradicionalmente asociados a categorías semejantes.

El código de colores usado da información sobre la concentración de los contaminantes presentes en el aire (ver Figura 13) anteriormente mencionados, expresada en microgramos por metro cúbico ( $\mu g/m^3$ ).

Pollutant	Index level (based on pollutant concentrations in µg/m3)					
	Good	Fair	Moderate	Poor	Very poor	Extremely poor
Particles less than 2.5 µm (PM <sub>2.5</sub> )	0-10	10-20	20-25	25-50	50-75	75-800
Particles less than 10 µm (PM <sub>10</sub> )	0-20	20-40	40-50	50-100	100-150	150-1200
Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> )	0-40	40-90	90-120	120-230	230-340	340-1000
Ozone (O <sub>3</sub> )	0-50	50-100	100-130	130-240	240-380	380-800
Sulphur dioxide (SO <sub>2</sub> )	0-100	100-200	200-350	350-500	500-750	750-1250

Figura 13. Código de colores que marca el nivel del Índice de Calidad del Aire y valores de concentración de los diferentes contaminantes presentes en la atmósfera.

Además, este código es completado con mensajes relacionados con la salud, que da recomendaciones tanto para la población en general como para las poblaciones sensibles a la contaminación atmosférica (ver Figura 14). La información sobre la población sensible a este tipo de contaminación incluye tanto a adultos y niños con problemas respiratorios, como a adultos con afecciones cardíacas.

AQ index	General population	Sensitive populations
Good	The air quality is good. Enjoy your usual outdoor activities.	The air quality is good. Enjoy your usual outdoor activities.
Fair	Enjoy your usual outdoor activities	Enjoy your usual outdoor activities
Moderate	Enjoy your usual outdoor activities	Consider reducing intense outdoor activities, if you experience symptoms.
Poor	Consider reducing intense activities outdoors, if you experience symptoms such as sore eyes, a cough or sore throat	Consider reducing physical activities, particularly outdoors, especially if you experience symptoms.
Very poor	Consider reducing intense activities outdoors, if you experience symptoms such as sore eyes, a cough or sore throat	Reduce physical activities, particularly outdoors, especially if you experience symptoms.
Extremely poor	Reduce physical activities outdoors.	Avoid physical activities outdoors.

Figura 14. Relación del código de colores con las recomendaciones para la salud de los seres humanos.

Como previamente se había dividido la clase en cinco grupos, a cada uno de ellos se le asignará un área de la geografía española. Las áreas geográficas de España que se les asignarán son las siguientes:

- Grupo 1. Comunidades autónomas de la costa Norte de la Península: Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco.
- Grupo 2. Comunidades autónomas interiores del Norte de la Península: Castilla y León, La Rioja, Navarra y Aragón.
- Grupo 3. Comunidades autónomas de la costa Este: Cataluña, Valencia e Islas Baleares.
- Grupo 4. Comunidades autónomas interiores del centro de la Península: Madrid, Castilla la Mancha y Extremadura.
- Grupo 5. Comunidades autónomas del Sur: Murcia, Andalucía e Islas Canarias.

Cada uno de los grupos tendrá que acceder al enlace del mapa interactivo, familiarizarse con su manejo y con los datos que proporciona, e interactuar con las diferentes estaciones que se encuentren dentro del área geográfica que se les haya asignado. En cada estación pueden observar el contaminante que ha provocado ese nivel de calidad de aire (Figura 12).

Deberán apuntar el nombre de la estación, así como la calidad del aire presente en ella, a través del código de colores que aparece en la pantalla de dicho mapa interactivo. Este código de colores lo deben relacionar con la concentración de contaminantes presentes en la estación, así como con el mensaje relacionado con la salud que da cada color. Y con todo ello sacar conclusiones de la calidad del aire en las diferentes estaciones del área geográfica correspondiente.

En la siguiente sesión, cada uno de los cinco grupos deberá exponer al resto de grupos, las conclusiones a las que han llegado en su estudio. Utilizando para ello el mapa interactivo que se muestra en la Figura 12 a modo de recurso para así poder referirse a cada una de las estaciones que estaban en el área geográfica que se les había asignado. Dicho mapa será proyectado en la pantalla del aula de clase.

### ❖ **TERCERA SESIÓN**

Los contenidos que se van a trabajar en la tercera sesión son los siguientes:

- Redes de medida de los aerosoles y la medición del Índice Nacional de Calidad del Aire.
- Efectos positivos y negativos que producen los aerosoles sobre la salud de los seres humanos.

Esta sesión está dividida en dos partes, la primera de ellas destinada a la exposición oral de los resultados y conclusiones que obtuvo cada grupo de la actividad 1 realizada en la segunda sesión, y en la segunda parte de la sesión se desarrollarán los contenidos teóricos relacionados con los efectos positivos y negativos que producen los aerosoles sobre la salud de los seres humanos.

En la primera parte de esta sesión, se realizarán las exposiciones de los resultados y conclusiones a los que ha llegado cada grupo, de la actividad de investigación que se realizó en la anterior sesión. La exposición se realizará en el aula donde se imparten clases, proyectando en la pantalla la Figura 12. Con la realización de la exposición por los diferentes grupos, se repasarán los conocimientos adquiridos en las sesiones anteriores que han sido destinadas al desarrollo de esta propuesta. La exposición que realizarán los diferentes grupos tendrá una duración de 25 minutos, de los cuales cada uno de los grupos dispondrá de 5 minutos.



Para realizar la exposición los recursos materiales necesarios serán el proyector y pizarra digital o pantalla blanca. Los recursos personales serán los alumnos que integran cada uno de los grupos y el profesor que esté llevando a cabo el desarrollo de esta sesión.

En los 20 minutos restantes, se llevará a cabo la segunda parte de esta sesión. El profesor desarrollará teóricamente los efectos positivos y negativos de los aerosoles sobre la salud de los seres humanos. Haciendo especial énfasis en que los aerosoles en el ámbito de la salud y en concreto dentro del campo de la medicina, presentan tantos aspectos positivos, en el caso de medicamentos que tratan enfermedades del sistema respiratorio (Figura 7), como aspectos negativos, en el caso de la transmisión del SARS-CoV-2 por estas partículas.

En cuanto a la relación que tienen los aerosoles con aspectos negativos sobre la salud se mostrará la Figura 8, para explicar hasta qué región del aparato respiratorio humano pueden penetrar las diferentes partículas dependiendo del tamaño de éstas. Cuando se lleve a cabo la explicación de los modos de transmisión del SARS-CoV-2, se mostrará la Figura 9, en la que se ilustran los posibles tamaños que tienen las partículas de aerosol presentes en una situación concreta como la que se muestra en dicha figura.

Los recursos necesarios para llevar a cabo la segunda parte de esta sesión, serán la pizarra digital o pantalla blanca y el proyector. El profesor desarrollará la explicación haciendo uso de este medio para mostrar diferentes figuras relacionadas con los contenidos. Además mostrará artículos periodísticos de actualidad que están directamente relacionados con los contenidos explicados.

#### ❖ CUARTA SESIÓN

Los contenidos que se van a trabajar en la cuarta sesión son los siguientes:

- Relación de los aerosoles con la transmisión de la COVID-19 por vía aérea.

Debido a la situación actual de pandemia que se está dando, y al cambio que ésta ha producido en la educación y en la forma de vida dentro de los centros escolares, se ha decidido dedicar una sesión completa de 50 minutos al desarrollo de una actividad en la que se ponga de manifiesto cómo se da la transmisión de la COVID-19 por vía aérea, haciendo un estudio de cómo puede producirse en el aula de clase. Para ello se usarán medidores de  $CO_2$  con los que ha dotado la Junta de Castilla y León a los centros educativos.

El objetivo principal de esta sesión es concienciar al alumnado de la importancia de seguir las directrices marcadas por las instituciones superiores para frenar la transmisión del virus, y con ello proteger a la población.

Durante esta sesión, y concretamente durante el transcurso de la actividad, vamos a realizar medidas de la concentración de  $CO_2$  presente en el aula, por lo que vamos a medir es la concentración de un gas presente en el aula de clase. Como bien se explicó al inicio de la propuesta didáctica, la atmósfera está formada por gases y por partículas, por lo que en la actividad que se detalla a continuación, vamos a centrarnos en la medida de dicho gas, en contraposición al estudio de temas relacionados con aerosoles, que es lo que hemos estado haciendo hasta ahora.

Esta sesión va a ser exclusivamente práctica. En ella se va a realizar la actividad que será detallada a continuación.

## ➤ **Actividad 2. Medida del $CO_2$ y de las características del ambiente del aula.**

Esta actividad se dividirá en dos partes, que serán detalladas más adelante. Cada una de ellas tendrá aproximadamente la misma duración, reservando los cinco primeros minutos de la sesión a explicar lo que se deberá hacer durante la realización de esta.

Los objetivos de esta actividad son:

- Familiarizar al alumnado con aparatos de medida de la concentración de  $CO_2$ .
- Poner de manifiesto la importancia del trabajo en grupo para llevar a cabo la realización de una actividad grupal.
- Concienciar al alumnado de la importancia de cumplir las medidas dictadas por las instituciones gubernamentales para frenar la transmisión del SARS-CoV-2.

Esta actividad se va a desarrollar en el aula de clase. Los recursos necesarios para llevarla a cabo son tres medidores de  $CO_2$  con los que cuenta el centro. Estos medidores deberán situarse en una zona del aula aislada lo más posible del flujo de aire, que se pueda establecer entre las ventanas y la puerta del aula, de esa forma su medida será más representativa de la media del valor de la concentración de  $CO_2$  en el recinto.

Los valores de la medida que va a ser realizada se relacionan directamente con la posibilidad de la transmisión del SARS-CoV-2 en el aula. Se sabe que el riesgo de transmisión del virus aumenta en función de una serie de factores, estos son: volumen de habla del emisor; actividad física intensa; ausencia de mascarilla bien ajustada; número elevado de personas en el mismo espacio; disminución de la distancia interpersonal; aumento del tiempo de emisión y exposición; y ausencia de ventilación en ambientes interiores.

La ventilación adecuada puede realizarse con ventilación natural con el aire exterior o mediante sistemas mecánicos de ventilación y climatización que deben estar bien instalados y mantenidos. En el caso de esta actividad la ventilación va a ser llevada a cabo a través de la apertura de las ventanas del aula y de la puerta.

Las medidas de prevención para evitar la transmisión del virus deben seguir una estrategia combinada de medidas de protección, de forma que el uso conjunto de más de una medida permita alcanzar una mejor protección.

Para llevar a cabo esta actividad se formarán tres grupos con el mismo número de alumnos aproximadamente.

En la primera parte de esta actividad, que corresponderá con los 25 minutos siguientes a la explicación del profesor, cada grupo dispondrá de un medidor de  $CO_2$  con el cual realizará medidas de la concentración de este gas a intervalos de 5 minutos. Cada uno de los grupos deberá situarse con el medidor en las zonas del aula señaladas por el profesor, según se muestra en la Figura 15.

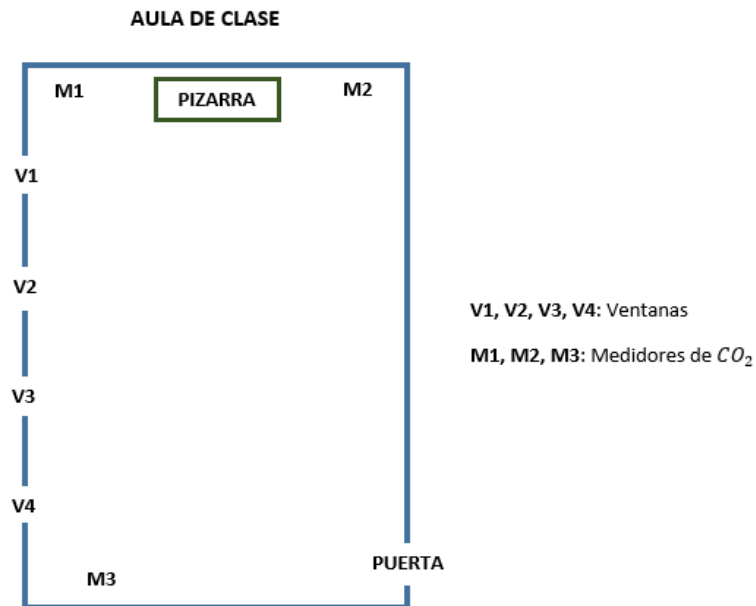


Figura 15. Posición de cada uno de los grupos con su medidor de  $CO_2$  dentro del aula.

Cada uno de los grupos deberá señalar en la Tabla 1 que se adjunta, en primer lugar la concentración de  $CO_2$  medida en el exterior de la clase, cuyo valor va a servir de referencia. Deberán anotar también la concentración que marca el medidor, en las zonas marcadas del interior de la clase, así como si las ventanas y la puerta están abiertas o cerradas, en cada instante en el que se realicen las medidas. La disposición de la puerta y las ventanas irá variando según el criterio del profesor, para que con ello sea posible obtener medidas de diferentes situaciones. Además cada uno de los grupos en los mismos instantes en los que anote la concentración, deberá anotar en la Tabla 2 adjunta, características relacionadas con el ambiente de trabajo que se esté dando en ese instante en el aula, apuntando para ello la hora a la que se ha realizado la medida en el casillero correspondiente relacionado con las condiciones del aula en el instante de la medida.

Tabla 1. Tabla de toma de datos de la concentración de  $CO_2$  en las aulas con ventilación natural del IES Emilio Ferrari.

Fecha:		Aula:							Medida de referencia exterior inicial de $CO_2$ :
	Hora	Medida de $CO_2$ (PPM)	Número de alumnos	Puerta	Ventana 1 (V1)	Ventana 2 (V2)	Ventana 3 (V3)	Ventana 4 (V4)	Observaciones
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									

Tabla 2. Características del ambiente de trabajo donde se está desarrollando la actividad.

Número de personas y actividad de grupo	Baja ocupación				Alta ocupación		
	Exterior	Interior bien ventilado	Interior mal ventilado		Exterior	Interior bien ventilado	Interior mal ventilado
<b>Con mascarilla, contacto durante poco tiempo</b>							
En silencio							
Hablando							
Gritando, cantando							
<b>Con mascarilla, contacto durante mucho tiempo</b>							
En silencio							
Hablando							
Gritando, cantando							
<b>Sin mascarilla, contacto durante poco tiempo</b>							
En silencio							
Hablando							
Gritando, cantando							
<b>Sin mascarilla, contacto durante mucho tiempo</b>							
En silencio							
Hablando							
Gritando, cantando							

En la segunda parte de esta actividad, que corresponde con los 20 últimos minutos de la sesión, cada grupo expondrá al resto de alumnos de los grupos, los resultados que han obtenido tanto de las concentraciones de  $CO_2$  medidas con su medidor, como de las características relacionadas con el ambiente de trabajo que se ha dado durante las mediciones. Se podrá observar si existen diferencias en estas medidas entre cada uno de los grupos.

Por último el profesor repartirá a cada uno de los alumnos la Tabla 3. En ella deben observar de forma cualitativa los riesgos de la transmisión por aerosoles del virus en diferentes escenarios. Dependiendo éstos del tipo de estancia, el número de personas reunidas, el uso o no de mascarilla (sin especificar tipo) y las actividades realizadas en la reunión. Y con todo ello, concienciar al alumnado del peligro sobre la salud que puede haber en diferentes situaciones, y la necesidad de prevenir en todo momento comportamientos que pueden darse en determinados escenarios, pudiendo éstos conducir a situaciones de riesgo alto sobre la salud de los seres humanos.

Tabla 3. Código de colores con los riesgos de la transmisión por aerosoles del virus en diferentes escenarios. Donde el verde es riesgo bajo, el amarillo riesgo medio y el rojo riesgo alto.

Número de personas y actividad de grupo	Baja ocupación				Alta ocupación		
	Exterior	Interior bien ventilado	Interior mal ventilado		Exterior	Interior bien ventilado	Interior mal ventilado
<b>Con mascarilla, contacto durante poco tiempo</b>							
En silencio	Verde	Verde	Verde		Verde	Verde	Amarillo
Hablando	Verde	Verde	Verde		Verde	Verde	Amarillo
Gritando, cantando	Verde	Verde	Amarillo		Amarillo	Amarillo	Rojo
<b>Con mascarilla, contacto durante mucho tiempo</b>							
En silencio	Verde	Verde	Amarillo		Verde	Amarillo	Rojo
Hablando	Verde	Verde	Amarillo		Amarillo	Amarillo	Rojo
Gritando, cantando	Verde	Amarillo	Rojo		Amarillo	Rojo	Rojo
<b>Sin mascarilla, contacto durante poco tiempo</b>							
En silencio	Verde	Verde	Amarillo		Amarillo	Amarillo	Rojo
Hablando	Verde	Amarillo	Amarillo		Amarillo	Rojo	Rojo
Gritando, cantando	Amarillo	Amarillo	Rojo		Rojo	Rojo	Rojo
<b>Sin mascarilla, contacto durante mucho tiempo</b>							
En silencio	Verde	Amarillo	Rojo		Amarillo	Rojo	Rojo
Hablando	Amarillo	Amarillo	Rojo		Rojo	Rojo	Rojo
Gritando, cantando	Amarillo	Rojo	Rojo		Rojo	Rojo	Rojo

## ❖ QUINTA SESIÓN

Los contenidos que se van a trabajar en la quinta sesión son los siguientes:

- La relación de los aerosoles con los micro y nano-plásticos.
- Presencia de microplásticos en regiones remotas.

La parte teórica de esta sesión está dirigida, casi en su plenitud, a enseñar a los alumnos cómo la contaminación por los microplásticos presente en los mares y océanos, conocida por la población general, también está presente en el aire de la atmósfera. Esta contaminación, ha sido producida a partir de la fragmentación en pequeñas partículas de los residuos plásticos y su circulación por la atmósfera debido a la acción de las masas de aire. Como la contaminación de los microplásticos transportados por la atmósfera y los efectos nocivos sobre la salud que ello conlleva, es un tema que se está investigando en la actualidad, se ha decidido realizar una actividad, en esta sesión, de concienciación del daño de los plásticos sobre el medioambiente a través de la contaminación que producen éstos en los mares y océanos. Y extrapolando todo lo tratado tanto en la parte teórica como durante el transcurso de la actividad a la concienciación sobre la necesidad de reducir el consumo de productos que contengan este tipo de materiales.

➤ **Actividad 3. Concienciación sobre la contaminación producida por los microplásticos.**

La actividad que se propone realizar durante esta sesión, se va a componer de la visualización de dos vídeos y de la realización de un debate. Es una actividad de concienciación sobre la necesidad de reducir el uso diario de ciertos productos que contienen micro y nano-plásticos, los cuales están produciendo grandes problemas de contaminación medioambiental.

Los objetivos de esta actividad son:

- Concienciar al alumnado sobre las diferentes acciones que pueden realizar para cuidar el medioambiente y con ello la salud de los seres humanos.
- Acercar los diferentes contenidos tratados en esta actividad a la vida cotidiana de los alumnos.

Los recursos necesarios para realizar esta actividad son una pizarra digital o pantalla blanca y el proyector, para visualizar los dos vídeos que van a ser reproducidos. Los demás recursos son personales, tanto los alumnos como el docente que esté dirigiendo esta actividad.

La actividad comenzará visualizando el siguiente vídeo del canal “*QuantumFracture*” llamado “El plástico que te estás bebiendo”, [https://www.youtube.com/watch?v=Eyl-IFjOS\\_4](https://www.youtube.com/watch?v=Eyl-IFjOS_4)

Este vídeo trata de la contaminación producida por los microplásticos, centrándose principalmente en la presencia de éstos en los mares y océanos, debido al consumo humano de ciertos productos. El vídeo será visualizado hasta el minuto 5:18, donde se planteará un debate a través de una pregunta, ¿qué podemos hacer para reducir la contaminación por microplásticos?

El profesor lanzará esta pregunta y a continuación se formarán dos grupos. Los grupos estarán formados por el mismo número de alumnos, por lo que la clase quedará dividida en dos. Cada grupo se encargará de resolver una pregunta tomando para ello diferentes roles. Los alumnos podrán adquirir el rol de qué hacer cómo individuos para reducir la contaminación por plásticos o el rol de qué se puede exigir como ciudadano a nuestros políticos para favorecer esa reducción. Dependiendo del rol que adquieran deberán contestar a una de las cuestiones siguientes:

- Grupo 1. ¿Qué acciones podemos hacer como individuos para reducir la presencia de microplásticos en el medioambiente?
- Grupo 2. ¿Qué podemos exigir como ciudadanos a los políticos de nuestro país para que se pueda reduzca la presencia de microplásticos?

Cada grupo debatirá, con los integrantes de su mismo grupo, las respuestas que obtengan a la pregunta que se les ha planteado. Este intercambio de respuestas en cada uno de los grupos se llevará a cabo a lo largo de 15 minutos. Una vez haya transcurrido ese tiempo cada grupo expondrá las respuestas que ha obtenido a la pregunta planteada. Se producirá un intercambio de información donde los alumnos de cada grupo intervendrán de forma activa.

Una vez finalizada esta actividad de intercambio de respuestas a la pregunta lanzada por el profesor, se procederá a visualizar el último vídeo que dará por concluida la actividad y con ello la sesión. El vídeo se llama “Microplásticos: Proyecto Europeo ResponSEable”, <https://www.youtube.com/watch?v=KhPrHynr-7A>

Este vídeo trata, una vez más, de la contaminación por microplásticos intentando en todo momento concienciar a la población del problema medioambiental que éstos ocasionan. En el vídeo se puede visualizar algunos productos químicos que integran muchos productos cosméticos, los cuales son nanoplásticos. Mostrando al final de éste la necesidad de comprar productos cosméticos que no contengan estos componentes.

Por último para para tratar la relación de los aerosoles con el cambio climático, y escuchar una explicación de la repercusión de éstos sobre el clima, sin entrar en detalles teóricos extensos, se mostrará el siguiente vídeo del canal “*Climate and Development Knowledge Network*” titulado “*Aerosols: How they affect atmospheric warming*”, <https://www.youtube.com/watch?v=IGNCrfKG7iM>. Con la visualización de éste se darán unas breves pinceladas de la relación de estas partículas con dicho fenómeno. Mediante la visualización de este video se concluirá la última sesión y las sesiones destinadas al desarrollo de la propuesta, dejando abierta la relación de los aerosoles con el cambio climático, y en un futuro poder ser explicado más en detalle en una posible ampliación de la propuesta didáctica presente en este documento.

## 7. CONCLUSIONES

Se ha analizado la importancia que tienen actualmente las partículas de aerosol atmosférico y la necesidad de desarrollar tanto este concepto como su aplicación en diferentes campos dentro de las aulas de Educación Secundaria Obligatoria. Este desarrollo se llevará a cabo a partir de la redacción de una propuesta didáctica de carácter transversal e innovador. La importancia de implementar esta propuesta y de realizar con el alumnado un proceso de enseñanza y aprendizaje sobre dicho tema, ha surgido por la situación sanitaria vivida actualmente provocada por la COVID-19. Debido a esta situación que nos ha tocado vivir, de aquí en adelante existe la necesidad de realizar en la ESO propuestas relacionadas con este ámbito. Por todo ello, con la redacción de la propuesta innovadora presente en el documento, concluimos que se ha alcanzado el objetivo principal del presente trabajo, acercando al alumnado contenidos relacionados con las partículas de aerosol atmosférico y la relación de éstas con diversos campos de actualidad.

Se ha realizado una lectura y estudio del Proyecto de Autonomía “Ferrari Diverso y Sostenible”, con el que cuenta el centro, para poder ampliar dicho proyecto con la propuesta que se ha planteado en el presente trabajo. Destinando para ello dos semanas a la implementación de ésta a partir del desarrollo teórico de los contenidos y de la realización de actividades que ponen en práctica lo visto en las sesiones teóricas. Además de realizar alguna de éstas a partir de la indagación e investigación por los alumnos, utilizando esto como recurso didáctico para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje.

En la actualidad, el estudio de los aerosoles atmosféricos no se lleva a cabo ni en la ESO, ni en Bachillerato. Debido a la importancia que han cobrado en los últimos tiempos, y a su carácter multidisciplinar, se ha considerado necesario asegurar una educación de calidad al alumnado de Educación Secundaria Obligatoria desde la asignatura de Física y Química en el tema de estudio sobre los aerosoles. Para que con todo ello, el alumnado conozca el papel que desempeñan estas partículas en campos como el medioambiente y la salud, lo cual constituye temas de gran importancia y completa actualidad.

A la vista del análisis de los resultados de la encuesta realizada al alumnado de 2º, 3º y 4º de ESO, se observó que los conocimientos del alumnado de 4º de ESO eran superiores a los de los alumnos de 2º y 3º de ESO. También, por otro parte, los conocimientos del alumnado de 3º de ESO eran superiores a los de 2º de ESO. Por todo ello, la propuesta ha sido diseñada para llevarla a cabo de forma transversal en los cursos de 3º o 4º de ESO, ya que al ser un tema importante y de plena actualidad se debe formar al alumnado desde edades tempranas. Dicha propuesta no ha sido dirigida al curso de 2º de ESO, debido a que en dicho curso se adquieren conceptos básicos dentro de la asignatura de Física y Química, los cuales son la base para poder llevar a cabo la propuesta planteada en el presente trabajo. Por ello se ha considerado más oportuno su inclusión dentro de los cursos de 3º o 4º de ESO, desarrollando los contenidos teóricos esenciales sobre el tema tratado, adaptándolos a los conocimientos previos del alumnado de estos cursos del centro con los que se ha trabajado, y adaptando la redacción de la parte teórica al nivel de dicho alumnado.

Esta propuesta trata conceptos relacionados con los aerosoles atmosféricos y su relación con diferentes campos, tratando por ello conceptos que no se encuentran dentro del currículo de la asignatura de Física y Química, y debido a ello ha sido planteada como una propuesta de carácter transversal. En las sesiones destinadas a desarrollar la propuesta, se proponen tres actividades para trabajar estos conceptos, además de la visualización de una serie de vídeos. En el desarrollo de estas actividades se utiliza como herramienta principal las TICs; debido a que la propuesta está dirigida a



generaciones que son nativas en la tecnología, y por ello, se aprovecha esto para realizar de manera óptima varias actividades. Además estas actividades son trabajadas de forma grupal, para con ello fomentar el trabajo en equipo y el respeto al resto de compañeros, mostrándoles con ello cómo en la actualidad el trabajo dentro del área de las ciencias se desarrolla, en muchas ocasiones, a través de estos agrupamientos, y mediante la colaboración de los diferentes miembros que lo forman se consiguen resultados satisfactorios. En las actividades planteadas los alumnos juegan un papel activo, siendo el docente quien dirige sus intervenciones, acompañando para ello al alumno en el proceso y proporcionándole las herramientas necesarias para la consecución de los conocimientos y las competencias que se trabajan a lo largo de las sesiones.

Debido al carácter innovador de la propuesta, considero necesario observar los resultados de la puesta en práctica de ésta a través de la realización de las actividades, así como conocer el grado de satisfacción y motivación del alumnado antes de continuar ampliando o modificando las sesiones y actividades propuestas. Esto constituye el último objetivo del presente trabajo, el cual no ha podido ser cumplido debido a que la propuesta no ha sido implementada en el aula y no se ha podido evaluar la eficiencia de ésta.

Por último, cabe destacar, que se trata de una propuesta novedosa y de completa actualidad para el alumnado, que podría modificar de forma positiva sus percepciones hacia la asignatura de Física y Química, y más en general de la ciencia y la tecnología. Con todo ello consiguiendo, que los alumnos mostrasen más interés por este campo así como por sus aplicaciones para resolver problemas cotidianos, a la vez que debatir y argumentar con rigor sobre temas de actualidad relacionados con el ámbito científico.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Jiménez, P. D., Simonneau, A., Binet, S., and Galop, D., "Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment". *Nature Geoscience*, 12(5), 339-344, 2019.

Arthur, C., Baker, J., Bamford, H., "Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris". NOAA Technical Memorandum, 2009.

Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M. B., Trachsel, J., and Gerdt, G., "White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic". *Science Advances*, 5(8), eaax1157, 2019.

Cachorro, V. E., Burgos, M. A., Mateos, D., Toledano, C., de Frutos, A. M., "Aerosol properties of mineral dust and its mixtures in a regional background of north-central Iberian Peninsula". Grupo de Óptica Atmosférica, Universidad de Valladolid, 2016.

Damián, M., "Estudio teórico experimental sobre respuestas biológicas a compuestos orgánicos de relevancia ambiental". Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata, 2011.

Delgado, O., "Implicaciones de la exposición a microplásticos en la salud humana". Trabajo Fin de Máster. Universidad de Granada, 2019.

Delors, J., Mufti, I.A., Amagi, I., Carneiro, R., Chung, F., Geremek, B., Gorham, W., Kornhauser, A., Manley, M., Padrón, M., Savané, M. A., Singh K., and Stavenhagen, R., "La educación encierra un tesoro". Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la educación para el siglo XXI. Editorial Santillana. Ediciones Unesco, 1996.

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., and Thiel, M., "Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification". *Environmental science & technology*, 46(6), 3060-3075, 2012.

Herrero, S., "Caracterización de las propiedades ópticas y microfísicas de tres tipos de aerosoles atmosféricos durante tres eventos de alta turbiedad en Castilla y León". Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Valladolid, 2019.

Hess, M., Koepke, P., and Schult, I., "Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC", *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol.79, 5, 831-844, 1998.

I.E.S. Emilio Ferrari, "Proyecto de Autonomía. Ferrari Diverso y Sostenible", curso 2020-2023. No disponible en la web del centro.

Kulkarni, P., Baron, P. A., and Willeke, K., "Aerosol measurement: principles, techniques, and applications". John Wiley & Sons, 2011.

Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Sommer, H. "Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment". *The Lancet*, 2000.

Padilla, A., "Microplásticos en el medio ambiente". Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Jaén, 2020.

Palacios, L., Baró, R., Jiménez-Guerrero, P., *“Estudio del efecto directo de los aerosoles atmosféricos sobre Europa”*. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Universidad de Murcia, 2014.

Toledano, C., *“Los aerosoles atmosféricos y su influencia en la Península Ibérica”*. Manual formativo de ACTA, 2008.

Vergaz, R., *“Caracterización de los aerosoles atmosféricos”*. Grupo de Óptica Atmosférica, Departamento de Óptica y Física Aplicada, Facultad de Ciencias. Universidad de Valladolid, 2001.

Villar, B., *“Transporte de la contaminación hacia el Polo Norte”*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Valladolid, 2020.

### **Webgrafía**

Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA). Recuperado 26 de mayo de 2021, de <https://www.nasa.gov/>

Página web de la NASA sobre recursos para la educación. Recuperado 26 de mayo de 2021, de <https://climate.nasa.gov/resources/education/>

Mapa interactivo del Espacio Económico Europeo (EEA). Recuperado 12 de mayo de 2021, de <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>

Página web de la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMet). Recuperado 4 de junio de 2021, de <http://www.aemet.es/es>

Página web de la Red de Control de la Contaminación Atmosférica del Ayuntamiento de Valladolid (RCCAVA). Recuperado 4 de junio de 2021, de <https://www.valladolid.es/es/rccava>

Vídeos sobre aerosoles atmosféricos utilizados en la Sesión primera y en la segunda:

<https://www.youtube.com/watch?v=4eh6IKahbok>

<https://www.youtube.com/watch?v=IGNCrFKG7iM>

Vídeos sobre microplásticos utilizados como recurso para la Actividad 3:

[https://www.youtube.com/watch?v=Eyl-IFjOS\\_4](https://www.youtube.com/watch?v=Eyl-IFjOS_4)

<https://www.youtube.com/watch?v=KhPrHynr-7A>

### **Legislación**

ORDEN ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato.

ORDEN EDU 362/2015 BOCYL, del 8 de mayo de 2015, por el que se establece la concreción autonómica del BOE en Castilla y León del currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), sobre la asignatura de Física y Química en los cursos de la ESO.

ORDEN EDU/362/2015, de 4 de mayo de 2015, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad de Castilla y León.

ORDEN TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire. Ministerio para la Transición Ecológica. *Boletín Oficial del Estado*, 75, de 28 de marzo de 2019, BOE-A-2019-4494. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2019/BOE-A-2019-4494-consolidado.pdf>

Resolución de 2 de septiembre de 2020, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se modifica el Anexo de la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire. *Boletín Oficial del Estado*, 242, de 10 de septiembre de 2020. [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/resolucion\\_02092020\\_modificacion\\_ica\\_tcm30-511596.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/resolucion_02092020_modificacion_ica_tcm30-511596.pdf)

## 9. ANEXO

En este apartado se incluye la encuesta realizada al alumnado, con el que se ha trabajado durante el periodo de prácticas, de los cursos de 2º, 3º y 4º de ESO del IES Emilio Ferrari. Además se recogen los resultados obtenidos de dicha encuesta para cada uno de los cursos mencionados, mostrando el porcentaje de alumnos que han dado una misma respuesta. A la vista de estos resultados, se ha realizado un análisis de ellos y se han obtenido unas conclusiones. Con todo ello se ha procedido a la redacción de la propuesta presente en este trabajo.

### 9.1. Resultados porcentuales por cursos de la encuesta

- **RESULTADOS DE LA ENCUESTA REALIZADA A LOS ALUMNOS DE 2º CD**

Número	Pregunta	Respuesta	Porcentaje
1	¿Sabes qué son los aerosoles?	Sí No En blanco	29,4 % 64,7 % 5,9 %
2	Si la respuesta es sí, da una definición de una línea.	Dada No dada	47,0 % 53,0 %
3	¿Has oído hablar últimamente de aerosoles aunque no sepas exactamente lo que son?	Sí No En blanco	58,8 % 29,4 % 11,8 %
4	Escribe la primera palabra que se te venga a la mente relacionada con los aerosoles.	Dada (y bien) Dada (y mal) COVID*	52,9 % 35,3 % 11,8 %
5	¿Con qué asocias la palabra aerosoles en relación al medioambiente?	Dada (y bien) Dada (y mal) En blanco	41,2 % 23,5 % 35,3 %
6	¿Cuándo te hablan de la COVID-19 lo asocias con los aerosoles?	Sí No En blanco	47,1 % 47,1 % 5,8 %
7	Si la respuesta a la anterior pregunta es afirmativa, ¿antes de la COVID-19 habías oído hablar de ellos?	Sí No En blanco	17,6 % 29,4 % 53,0 %
8	Al hablar de contaminación atmosférica, ¿crees que tiene que ver con los aerosoles?	Sí No En blanco	35,3 % 35,3 % 29,4 %
9	¿Consideras que el término aerosol es negativo?	Positivo Negativo Neutro En blanco	35,3 % 29,4 % 11,8 % 23,5 %
10	¿Piensas que el cambio climático existe? Justifica tu respuesta	Sí No En blanco	76,5 % 17,6 % 5,9 %

11	¿La presencia de aerosoles en la atmósfera tiene algo que ver con el cambio climático? Si la respuesta es sí, da una sencilla explicación de por qué.	Sí No En blanco	41,2 % 29,4 % 29,4 %
12	¿Piensas que desde la asignatura de Física y Química se puede hacer un estudio de lo tratado en esta encuesta?	Sí No DOA**	94,1 % 5,9 % 0 %

\*COVID: la palabra relacionada con los aerosoles que han dado ha sido la COVID-19.

\*\*DOA: desde otras asignaturas.

- **RESULTADOS DE LA ENCUESTA REALIZADA A LOS ALUMNOS DE 3º A**

Número	Pregunta	Respuesta	Porcentaje
1	¿Sabes qué son los aerosoles?	Sí No En blanco	56,3 % 37,5 % 6,2 %
2	Si la respuesta es sí, da una definición de una línea.	Dada No dada	68,8 % 31,2 %
3	¿Has oído hablar últimamente de aerosoles aunque no sepas exactamente lo que son?	Sí No En blanco	87,5 % 31,25 % 0 %
4	Escribe la primera palabra que se te venga a la mente relacionada con los aerosoles.	Dada (y bien) Dada (y mal) COVID*	25 % 12,5 % 62,5 %
5	¿Con qué asocias la palabra aerosoles en relación al medioambiente?	Dada (y bien) Dada (y mal) En blanco	75 % 0 % 25 %
6	¿Cuándo te hablan de la COVID-19 lo asocias con los aerosoles?	Sí No En blanco	100 % 0 % 0 %
7	Si la respuesta a la anterior pregunta es afirmativa, ¿antes de la COVID-19 habías oído hablar de ellos?	Sí No En blanco	6,2 % 87,5 % 6,3 %
8	Al hablar de contaminación atmosférica, ¿crees que tiene que ver con los aerosoles?	Sí No En blanco	56,3 % 37,5 % 6,2 %
9	¿Consideras que el término aerosol es negativo?	Positivo Negativo Neutro En blanco	12,5 % 56,3 % 25 % 6,2 %
10	¿Piensas que el cambio climático existe? Justifica tu respuesta	Sí No En blanco	100 % 0 % 0 %

11	¿La presencia de aerosoles en la atmósfera tiene algo que ver con el cambio climático? Si la respuesta es sí, da una sencilla explicación de por qué.	Sí No En blanco	31,3 % 37,5 % 31,2 %
12	¿Piensas que desde la asignatura de Física y Química se puede hacer un estudio de lo tratado en esta encuesta?	Sí No DOA**	100 % 0 % 0 %

\*COVID: la palabra relacionada con los aerosoles que han dado ha sido la COVID-19.

\*\*DOA: desde otras asignaturas.

- **RESULTADOS DE LA ENCUESTA REALIZADA A LOS ALUMNOS DE 4º D**

Número	Pregunta	Respuesta	Porcentaje
1	¿Sabes qué son los aerosoles?	Sí No En blanco	55 % 40 % 5 %
2	Si la respuesta es sí, da una definición de una línea.	Dada No dada	60 % 40 %
3	¿Has oído hablar últimamente de aerosoles aunque no sepas exactamente lo que son?	Sí No En blanco	85 % 10 % 5 %
4	Escribe la primera palabra que se te venga a la mente relacionada con los aerosoles.	Dada (y bien) Dada (y mal) COVID*	65 % 10 % 25 %
5	¿Con qué asocias la palabra aerosoles en relación al medioambiente?	Dada (y bien) Dada (y mal) En blanco	95 % 5 % 0 %
6	¿Cuándo te hablan de la COVID-19 lo asocias con los aerosoles?	Sí No En blanco	60 % 40 % 0 %
7	Si la respuesta a la anterior pregunta es afirmativa, ¿antes de la COVID-19 habías oído hablar de ellos?	Sí No En blanco	35 % 25 % 40 %
8	Al hablar de contaminación atmosférica, ¿crees que tiene que ver con los aerosoles?	Sí No En blanco	95 % 5 % 0 %
9	¿Consideras que el término aerosol es negativo?	Positivo Negativo Neutro En blanco	45 % 45 % 10 % 0 %
10	¿Piensas que el cambio climático existe? Justifica tu respuesta	Sí No En blanco	100 % 0 % 0 %

11	¿La presencia de aerosoles en la atmósfera tiene algo que ver con el cambio climático? Si la respuesta es sí, da una sencilla explicación de por qué.	Sí No En blanco	70 % 25 % 5 %
12	¿Piensas que desde la asignatura de Física y Química se puede hacer un estudio de lo tratado en esta encuesta?	Sí No DOA**	80 % 5 % 15 %

\*COVID: la palabra relacionada con los aerosoles que han dado ha sido la COVID-19.

\*\*DOA: desde otras asignaturas.

## 9.2. Análisis de los resultados de la encuesta

A la vista de los resultados numéricos de la encuesta realizada al alumnado podemos sacar una serie de conclusiones acerca de los conocimientos que tienen sobre los aerosoles atmosféricos y su relación con diversos campos. Analizaremos las respuestas dadas por el alumnado a cada una de las preguntas presentes en la encuesta.

En la pregunta número 1 se observa una clara diferencia en si saben o no lo que son los aerosoles, entre los alumnos de 2º de ESO frente a los alumnos de 3º y 4º de ESO. En el caso de los alumnos de 2º de la ESO el 29,4 % de ellos sabe qué son, en cambio en los cursos de 3º y 4º de ESO los porcentajes son mayores, del 56,3% y 55% respectivamente.

En la pregunta número 2, varios de los alumnos de los tres cursos no respetaron lo que se decía en la pregunta, respecto a que sólo se daría una definición en caso de haber respondido sí a la pregunta 1. Pese a ello muchas de las respuestas sí que podían ser la definición de aerosoles, algunas de ellas fueron: partículas que están por el aire, partículas presentes en los sprays, medicamento que te administran cuando te falta el aire, etc.

En la pregunta número 3, al igual que en la pregunta número 1, se observa una clara diferencia en las respuestas de los alumnos de 2º de ESO frente a los alumnos de 3º y 4º de ESO. Aunque en este caso los porcentajes obtenidos para la respuesta de que sí han oído hablar últimamente de aerosoles, en los tres cursos, es mayor. Los resultados a esta pregunta eran los esperados antes de la realización de la encuesta, debido a que ha sido un tema tratado en los medios de comunicación desde casi el comienzo de la pandemia.

En la pregunta número 4, los alumnos de los 3 cursos escribieron palabras relacionadas con los aerosoles, y un gran porcentaje de ellos escribió como primera palabra que se le venía a la mente, COVID-19. Esta respuesta fue dada por un 62,5% del alumnado de 3º de ESO. En el caso de los alumnos de 2º y 4º de ESO, algunas de sus respuestas fueron: sprays, medioambiente, atmósfera, aire, contaminación, partículas, etc.

En la pregunta número 5, los porcentajes obtenidos de si los alumnos han dado una palabra correcta para asociar los aerosoles con el medioambiente, crecen a medida que aumenta el curso. Obteniendo un porcentaje de palabras correctas en 2º de ESO del 41,2%, en 3º de ESO 75%, y por



último en 4º de ESO 95%. Lo que muestra que el alumnado de 4º de ESO está más informado de la relación de los aerosoles con el tema medioambiental.

En la pregunta número 6, los resultados son muy dispares. En el curso de 2º de ESO, el porcentaje de alumnos que relacionaba directamente los aerosoles con la COVID-19 era el mismo que el que no los relacionaba. En el curso de 3º de ESO, el 100% del alumnado asociaba directamente los aerosoles con la COVID-19. Y por último en el curso de 4º de ESO, el 60% del alumnado los relacionaba directamente con la COVID-19. A la vista de los resultados obtenidos tanto en esta pregunta como en la pregunta número 5 del alumnado de 4º de ESO, se concluye que estos alumnos saben que los aerosoles tienen relación tanto con el medioambiente como con la COVID-19.

En la pregunta número 7, los resultados han sido los esperados. En el curso de 2º de ESO tan sólo el 17,6% había oído hablar de los aerosoles antes de la COVID-19. En el caso de los alumnos de 3º de ESO el 100% de ellos relacionaban directamente la COVID-19 con los aerosoles en la pregunta 6, pero tan sólo el 6,2% había oído hablar de ellos anteriormente a la pandemia. Por último en el caso de los alumnos de 4º de ESO, el 35% de ellos sí que había oído hablar de los aerosoles.

En la pregunta número 8, al igual que en la pregunta 5, los porcentajes obtenidos de sí existe relación entre la contaminación atmosférica y los aerosoles, crece a medida que aumenta el curso. Destacando el porcentaje obtenido en esta respuesta en 4º de ESO, que es del 95%.

En la pregunta número 9, los porcentajes obtenidos en el curso de 2º de ESO fueron similares para las respuestas que consideraban que el término aerosol es positivo o negativo, en cambio tan sólo el 11,8% consideraba que el término es neutro. En el caso del curso de 3º de ESO, la diferencia porcentual es mayor para las respuestas que consideraban que el término es positivo o negativo, frente al 25% que consideraba que es neutro. Por último, en el curso de 4º de ESO el porcentaje obtenido es el mismo, 45% lo consideraba al aerosol como un término positivo y 45% término negativo, frente al 10% que consideraba que es neutro.

En la pregunta número 10, al igual que en las preguntas 1 y 3, se observa una clara diferencia en las respuestas de los alumnos de 2º de ESO frente a los alumnos de 3º y 4º de ESO. En el caso de los alumnos de 2º de ESO sólo el 76,5% piensa que el cambio climático existe, frente al 100% de los alumnos tanto de 3º como de 4º de ESO.

En la pregunta número 11, se observa cómo el 70% de los alumnos de 4º de ESO creen que la presencia de aerosoles en la atmósfera tiene algo que ver con el cambio climático, dando muchos de ellos explicaciones aproximadas de por qué. En el caso de los alumnos de 2º y 3º de ESO que han respondido sí a esta pregunta, no han dado la mayoría ninguna explicación, sino que se han limitado a contestar sí.

En la pregunta número 12, se observa una diferencia de resultados de los cursos de 2º y 3º de ESO frente a los de 4º de ESO. En el caso de los alumnos de 4º de ESO, el 80% respondió que sí que se podía estudiar lo tratado en la encuesta desde la asignatura de Física y Química, el 15% respondió que lo tratado en la encuesta podría ser estudiado en otras asignaturas de este curso, como son Cultura Científica y Biología y Geología. En cambio en los cursos de 2º y 3º de ESO casi todo el alumnado pensaba que dichos temas podrían ser tratados dentro de la asignatura de Física y Química.

Como conclusión, a la vista de los resultados de cada una de las preguntas analizadas anteriormente, se observó cómo los conocimientos del alumnado de 4º de ESO eran superiores frente a los de los alumnos de 2º y 3º de ESO. También, a su vez, los conocimientos del alumnado de 3º de ESO eran superiores a los de 2º de ESO. Por ello, a la vista de todo esto, se ha decidido redactar la

propuesta didáctica presente en este trabajo en base a los conocimientos del alumnado de 3º y 4º de ESO encuestados. Se excluye, con ello, llevarla a cabo en el curso de 2º de ESO, debido a que el alumnado de este curso, es el primer año que cursa la asignatura de Física y Química, y es necesario que adquiera unos conocimientos y competencias básicas sobre ella antes de realizar las sesiones y actividades que se proponen en la implementación de la propuesta.