

TESIS DOCTORAL



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

**«Disminución de la concentración de partículas y
bioaeroloses durante los actos clínicos de
ortodoncia.»**

Dña. María Inmaculada Martín Quintero

Directores:

Prof. Dr. Javier Flores Fraile

Prof. Dr. Juan Antonio Santos Marino

Prof. Dr. Juan Manuel Aragonese Lamas

Salamanca 2024

EL PROFESOR D. JAVIER MONTERO MARTÍN, DIRECTOR DEL
DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

CERTIFICA:

Que la presente Memoria de Tesis Doctoral, elaborada por Dña. **María Inmaculada Martín Quintero** para optar al Título de Doctor por la Universidad de Salamanca, con el título “Disminución de la concentración de partículas y bioaeroloses durante los actos clínicos de ortodoncia”; realizada bajo la dirección del Prof. Dr. Javier Flores Fraile, el Prof.Dr. Juan Antonio Santos Marino, y el Prof. Dr. Juan Manuel Aragonese Lamas, reúne los requisitos necesarios para su presentación y defensa ante el Tribunal Calificador para poder optar al Título de Doctor por la Universidad de Salamanca.

Y para que conste, expide y firma la presente certificación.

Fdo. Prof. Dr. Javier Montero Martín

Salamanca, a 15 de Septiembre de 2024.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres por la paciencia, por su apoyo incondicional durante todos mis años de aprendizaje e investigación, durante toda una vida. Son ellos quienes me dan la fortaleza para hacer frente a los desafíos, mi cable a tierra para mantenerme enfocada en mis propósitos.

Gracias a mi hermana por estar siempre ahí, por ser un pilar emocional, por sus palabras de aliento, por animarme a parar en momentos de bloqueo y hacerme reír cuando más lo necesité. Su apoyo ha hecho que este viaje fuera mucho más llevadero.

Gracias a mis amigos y a mi pareja, por ser mi refugio, mi centro de gravedad y mi fuerza constante. Me han dado la energía necesaria para luchar por mi sueño.

Además, quisiera extender mi más sincero agradecimiento a mis directores de tesis doctoral, por su generosidad orientándome a lo largo de este proyecto. Su experiencia y entrega han sido fundamentales para el desarrollo y la culminación de esta tesis.

También me gustaría expresar mi agradecimiento al profesor Alberto Cervera Sabater por su motivación, por atreverse a proponer ideas innovadoras. Su pasión por la investigación, su bagaje y su dedicación han sido todo un referente para mí. Gracias también a los profesores que han marcado la diferencia a lo largo de toda mi formación, por su calidad humana, por ir más allá del compartir conocimiento, convirtiéndose en fuentes de inspiración y sabiduría.

A todos ellos, gracias por ser mis compañeros de viaje en la realización de esta tesis.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Definición de bioaerosoles y su contexto histórico	2
1.2 Física, química y biología de las biopartículas	4
1.3 Transporte y depósito en el tracto respiratorio	9
1.4 Técnicas de muestreo, análisis y mecanismos de control	12
1.5 Síndrome del edificio enfermo	25
1.6 Contexto actual de los bioaerosoles y el medio ambiente	30
1.7 Impacto de los bioaerosoles en la salud y en la enfermedad	37
1.8 Bioaerosoles y COVID	43
1.9 Bioaerosoles y Odontología	46
1.10 Medidas preventivas	50
1.11 Bioaerosoles y Ortodoncia	57
2. JUSTIFICACIÓN	61
3. HIPÓTESIS	63
4. OBJETIVOS	65
5. MATERIAL Y MÉTODOS	67
6. RESULTADOS	81
7. DISCUSIÓN	112
8. CONCLUSIONES	130
9. BIBLIOGRAFÍA	132
10. ANEXO I: EVALUACIÓN ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN	147
11. ANEXO II: RECOGIDA DE DATOS: FILTRO/CONTROL	149
12. ANEXO III: ARTÍCULOS PUBLICADOS EN BMC	15

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DEFINICIÓN DE BIOAEROSOLES Y SU CONTEXTO HISTÓRICO

Los bioaerosoles son una variedad de compuestos o microfragmentos presentes en el aire, que pueden provenir de diversas fuentes, como la materia vegetal, animal y microorganismos. Estos bioaerosoles pueden estar compuestos por microorganismos vivos o muertos, así como por una amplia gama de componentes biológicos, que incluyen hongos, levaduras, esporas, bacterias, virus y otros elementos. La exposición a estos bioaerosoles puede provocar diversos efectos en los seres humanos, que van desde enfermedades infecciosas y reacciones alérgicas hasta intoxicaciones, efectos neurológicos, enfermedades respiratorias y, en casos extremos, incluso cáncer.¹⁻⁴

El tamaño de las partículas de bioaerosoles varía entre 0.001 y 100 μm , con una concentración de células en la atmósfera sobre la superficie terrestre que oscila entre 10^4 y 10^6 por metro cúbico. Los bioaerosoles pueden presentarse en formas esféricas o alargadas, y pueden existir tanto como cadenas individuales como en aglomerados. La forma, tamaño, densidad, volumen de masa y carga eléctrica de los bioaerosoles son aspectos críticos para comprender sus mecanismos de emisión, movimiento, transmisión y dispersión.^{3,5,6}

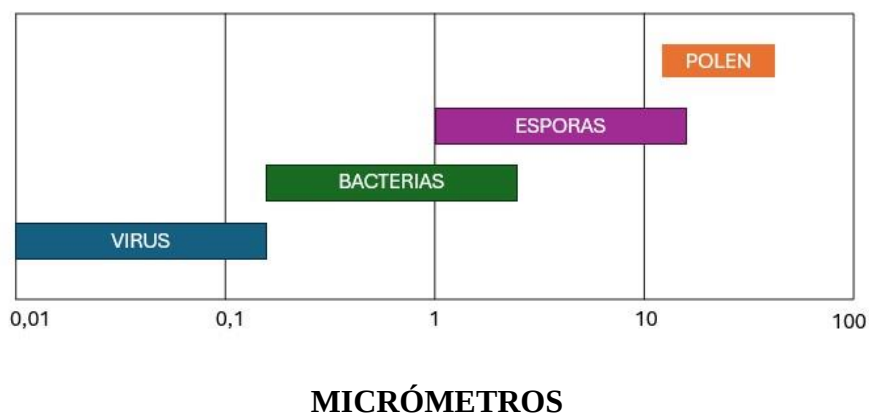


Figura 1. Distribución por tamaños de bioaerosoles. Elaboración propia.⁶

La presencia de microorganismos y otros bioaerosoles en el medio ambiente es omnipresente, pudiendo acumularse en concentraciones elevadas en edificios con ventilación deficiente y alta humedad, así como en entornos industriales donde se manipulan productos vegetales, animales o microbianos. A lo largo de la historia, se han registrado advertencias sobre los efectos adversos de la exposición a estos bioaerosoles.

Por ejemplo, en la Biblia se mencionan advertencias contra el crecimiento de moho en las casas. En el siglo XVII, Sir John Floyer, en su obra "Tratado del Asma" (1698), describió cómo la exposición a entornos húmedos y contaminados podía empeorar los síntomas de asma en los pacientes.^{1,6}

Los primeros informes que vinculan directamente los bioaerosoles en entornos laborales con problemas de salud datan de los siglos XVIII y XIX. Un ejemplo notable es el trabajo de Ramazzini en 1700, donde describe el "asma de los panaderos" inducido por el polvo de harina. En los últimos años, el interés por comprender mejor los bioaerosoles ha aumentado considerablemente, debido al incremento de alergias y enfermedades respiratorias. A finales de los años 70, el "síndrome del edificio enfermo" adquirió relevancia, refiriéndose a entornos interiores propensos a exposiciones elevadas de microorganismos y ácaros, lo cual se asocia con una alta prevalencia de enfermedades.^{1,7,8}

Además, el potencial de los bioaerosoles para ser utilizados en bioterrorismo ha renovado el interés en su estudio. Un ejemplo temprano de esto es el caso del ántrax, una enfermedad que cobró mayor notoriedad a principios del siglo XX. Este potencial se evidenció en 2001, cuando esporas de ántrax fueron dispersadas por correo en Estados Unidos, provocando varias muertes y generando un temor significativo en la población.^{1,9}

En resumen, los bioaerosoles son un componente crítico del aire que inhalamos, capaces de influir significativamente en nuestra salud. Es crucial comprender la composición y el potencial impacto de estos bioaerosoles para mitigar y manejar eficazmente una serie de enfermedades, además de enfrentar las amenazas asociadas con el bioterrorismo.^{1,2,3,6,10}

1.2 FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLOGÍA DE LOS BIOPARTÍCULAS

La gestión de la concentración de partículas en el aire dentro de espacios cerrados, particularmente en entornos sanitarios, presenta desafíos significativos debido a la variabilidad de actividades realizadas, el tamaño del ambiente, la diversidad de personal involucrado, y el uso de materiales químicos tanto para procedimientos médicos como para la desinfección de equipos y áreas. Este contexto subraya la importancia de adoptar estrategias efectivas para mejorar la calidad del aire interior, incluyendo el control de fuentes de contaminación, la utilización de filtros de aire adecuados, y la implementación de prácticas de mantenimiento regular para minimizar la presencia de partículas y otros contaminantes.^{11,12}

En los últimos años, ha quedado evidenciado que el aire juega un papel crucial en la transmisión de microorganismos. Es importante reconocer que el riesgo biológico no es el único aspecto que considerar; también existen contaminantes químicos y físicos, como radiaciones, que pueden tener efectos perjudiciales para la salud.^{11,13}

El análisis de la influencia de diversos factores ambientales, tales como la temperatura, la luz solar y la humedad relativa, se convierte en un campo de estudio de gran relevancia. Este análisis abarca tanto los efectos que estos factores pueden tener en la salud humana como la forma en que afectan la respuesta metabólica.^{11,14}

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) estima que la contaminación del aire interior (en un volumen de 0.0283 m³ puede contener 1,000,000 de partículas $\geq 0.5 \mu\text{m}$) es uno de los cinco principales riesgos para la salud pública. Esta contaminación puede causar irritación en los ojos, nariz y garganta, dolor de cabeza, pérdida de coordinación, náuseas, cáncer, así como daño en el hígado, los riñones y el sistema nervioso central. Además, se ha identificado un preocupante aumento de problemas respiratorios en los trabajadores de la salud. Es fundamental tener en cuenta que la apariencia de limpieza y sequedad no garantiza la ausencia de contaminantes bióticos o abióticos, los cuales pueden provocar problemas o complicaciones en la salud de las personas y los pacientes.¹¹

Las personas inhalan más de 10.000 litros de aire diariamente, lo que equivale a entre 100.000 y 10.000 billones de partículas. Solo una pequeña fracción de estas partículas se deposita en el sistema pulmonar. Si estas partículas no son gestionadas adecuadamente por el sistema inmunológico, pueden provocar efectos patógenos, como los mencionados anteriormente.^{11,15}

La fracción de partículas que alcanza la superficie respiratoria depende de las características físicas de las partículas y de la dinámica del flujo de gases. Por tanto, es crucial distinguir entre el concepto epidemiológico "exposición-respuesta" y la relación causal entre "exposición-dosis" y "dosis-respuesta".¹⁵

1.2.1 Tamaño de las partículas

Una de las características más fundamentales para determinar las propiedades de transporte de una partícula es su tamaño. En el caso de partículas esféricas, este tamaño se define por su diámetro (dp). Para partículas con formas más irregulares, se utiliza un diámetro equivalente, que representa el tamaño de una partícula esférica con el mismo volumen.

Las partículas respirables tienen un rango que va desde unos pocos nanómetros hasta, típicamente, unas pocas micras. El comportamiento de transporte de una partícula aerosol depende de cómo interactúa con las moléculas de gas circundantes. Esta interacción puede definirse considerando el tamaño de la partícula y la media libre de las moléculas de gas; la relación entre ambas se expresa mediante el número de Knudsen (Kn).^{6,15}

1.2.2 Distribución de las partículas

En una nube de partículas donde todas tienen un tamaño único, se denomina aerosol monodisperso. Sin embargo, este tipo es poco común, ya que las nubes de partículas generalmente contienen una amplia variedad de tamaños, formando lo que conocemos como aerosoles polidispersos. En estos aerosoles, algunas partículas se forman por la

fragmentación de otras más grandes, mientras que otras surgen de la aglomeración de partículas más pequeñas.^{15,16}

Para caracterizar una distribución polidispersa de este tipo, es necesario considerar al menos tres medidas: la media (promedio aritmético de los diámetros de las partículas en la distribución), la mediana (diámetro que divide la distribución en dos partes iguales; el 50% de las partículas tienen un diámetro mayor y el otro 50% un diámetro menor) y la moda (el valor más frecuente en la distribución).¹⁵

1.2.3 Forma de las partículas

Este factor afecta tanto la difusión como la aerodinámica, por lo que es crucial considerarlo para el transporte y la deposición en los pulmones. La forma de las partículas está inicialmente determinada por su origen, pero puede cambiar debido a procesos como la cristalización, la hidratación o la aglomeración. Las partículas menos esféricas pueden presentar formas como fibras rectas, curvas o estructuras complejas debido a la aglomeración de varias partículas.¹⁵

La difusión de partículas elipsoides o en forma de disco es una de las pocas formas irregulares que pueden ser explicadas matemáticamente. Para estas partículas irregulares, es importante considerar un parámetro conocido como "factor dinámico de forma", que describe la relación entre la resistencia de la partícula y la de una partícula esférica de igual volumen.¹⁵

1.2.4 Densidad de la partícula

La densidad es otro factor importante en la aerodinámica, ya que es una propiedad que se mantiene igual, excepto si la partícula sufre oxidación o hidratación superficial.^{6,15}

1.2.5 Composición, superficie y carga de la partícula

La composición y las características de su superficie son determinantes en la interacción de la partícula con el tejido pulmonar. Cuando una partícula tiene carga eléctrica neta en su superficie y se desplaza en un campo eléctrico, es crucial considerar tanto la fuerza eléctrica como la fuerza de arrastre actuando sobre ella.¹⁵

1.2.6 Nucleación, condensación, evaporación e higroscopicidad

Los procesos de nucleación, condensación y hidroscofia son resultado de la transferencia molecular entre la partícula y el gas circundante. La presión parcial de vapor de un líquido está directamente relacionada con la concentración de ese vapor en un volumen de gas, lo cual se denomina relación de saturación (SR).¹⁵

Cuando la SR es mayor que 1 (sobresaturación), las gotas crecen por condensación de vapor en su superficie. La velocidad de este crecimiento depende de la tasa a la que las moléculas llegan a la superficie de la partícula. En cambio, cuando la SR es menor que 1, ocurre la evaporación, donde las gotas se contraen debido al proceso inverso.¹⁵

Como mencionado previamente, el tamaño y la densidad de las partículas son los factores principales que determinan su distribución. El crecimiento higroscópico, influenciado por la humedad relativa, también es crucial. La humedad relativa varía con la temperatura.^{15,17}

El aire que respiramos contiene una carga significativa de partículas y suele tener una temperatura aproximada de 37°C y una humedad relativa del 99,5%. Estos factores pueden variar según el tipo y el patrón respiratorio.¹⁵

1.2.7 Coagulación

Este proceso no implica más la transferencia de masa entre una partícula y el gas circundante, sino que es un fenómeno entre partículas, donde estas colisionan y se adhieren para formar partículas más grandes.¹⁵

Por lo tanto, la distribución de partículas tiende a desplazarse hacia tamaños menores y la concentración de partículas disminuye.¹⁵

1.3 TRANSPORTE Y SU DEPÓSITO EN EL TRACTO RESPIRATORIO

Como se mencionó anteriormente, el tamaño de las partículas es uno de los determinantes más importantes en su depósito en el tracto respiratorio.¹⁵

La deposición total es alta en ambos extremos del espectro de tamaños de partículas. Para partículas mayores de 1 μm , la sedimentación gravitacional y la impactación inercial son efectivas, mientras que para partículas menores de 0.1 μm , la deposición difusional se convierte en el mecanismo principal.^{6,15}

La geometría local de las vías respiratorias, la mecánica de fluidos y la cinética de las partículas son cruciales para determinar su transporte y deposición. El patrón y la ruta de la respiración también desempeñan un papel relevante.¹⁵

Las vías respiratorias superiores incluyen las fosas nasales, la cavidad oral, la faringe y la laringe. Dado que los seres humanos normalmente respiran por la nariz, a menos que estén realizando ejercicio físico intenso, nos enfocaremos principalmente en esta vía, excepto en el caso de la terapia de inhalación.^{15,18}

El aire ingresa por la fosa nasal y atraviesa la válvula nasal hacia la cavidad nasal. En este punto, el flujo en las vías respiratorias nasales es mínimo, lo que resulta en una velocidad máxima del aire en la válvula nasal.¹⁵

Desde las fosas nasales, las corrientes de aire se curvan abruptamente al mezclarse en la nasofaringe, que marca el inicio de la garganta. La faringe concluye en la abertura triangular formada por las cuerdas vocales de la laringe.¹⁵

La membrana mucosa en la cavidad nasal mantiene una superficie húmeda a temperatura corporal debido a su alta vascularización, asegurando que el aire que alcanza las vías respiratorias inferiores esté completamente saturado y a temperatura corporal.¹⁵

A medida que el aire sale de la cavidad nasal hacia la faringe, se generan flujos transversales secundarios debido a la forma curvada de la vía aérea. Además, el dorso de la lengua influye en la sección transversal del flujo en la faringe, dependiendo de la presión local.¹⁵

Por lo tanto, existe riesgo de colapso de la vía aérea si los músculos encargados de estabilizar adecuadamente la parte colapsable de la vía respiratoria fallan. El flujo procedente de las vías respiratorias superiores entra en la tráquea a través de la laringe, donde el área transversal es la más reducida del tracto respiratorio, resultando en una mayor velocidad del flujo.¹⁵

Los pelos nasales actúan como filtros para partículas grandes, siendo la primera línea de defensa contra el ingreso de partículas a los pulmones. La capa de moco y los cilios en los estrechos conductos nasales también atrapan partículas mediante movimiento browniano, inercia propia o sedimentación gravitacional, dependiendo de su masa y tamaño.¹⁵

La deposición de partículas en la región olfativa, especialmente las de tamaño nanométrico, ha recibido atención significativa, debido a la translocación potencial a lo largo de los nervios olfativos que pueden sortear la barrera hematoencefálica, ofreciendo un camino directo al cerebro.¹⁵

Varios estudios han destacado que la deposición inercial de partículas aumenta con el diámetro medio de las partículas y la tasa de flujo de aire, expresada por el parámetro de impactación (IP), donde el diámetro aerodinámico (d_a) es el diámetro de una esfera de densidad unitaria (1g/cm^3) con la misma velocidad de sedimentación que la partícula en cuestión.¹⁵

Las vías aéreas conductoras presentan una ramificación dicotómica, comenzando en la tráquea, que se divide en los dos bronquios principales; cada uno de estos alimenta un par de bronquios más pequeños. Estas vías conducen a los bronquiolos terminales y de transición, donde se encuentran los alvéolos. En promedio, los bronquiolos terminales están ubicados en la decimoquinta generación desde la tráquea.^{15,17}

Las partículas de tamaño micrométrico tienden a depositarse en las vías aéreas conductoras por impactación, especialmente en las bifurcaciones. Este tipo de partículas se deposita de manera heterogénea en la superficie de las vías respiratorias.^{15,17}

La densidad de deposición, que representa el número de partículas depositadas por unidad de superficie, puede ser un parámetro crucial en la respuesta celular. Generalmente, la densidad de deposición es mucho mayor en las vías respiratorias conductoras que en el parénquima. La mayoría de las partículas inhaladas penetran rápidamente en el parénquima pulmonar, dificultando la distinción entre la deposición en las vías aéreas conductoras y en el parénquima.^{15,17}

Más del 90% del volumen pulmonar pertenece al acino pulmonar, donde tiene lugar el intercambio gaseoso. Las partículas finas y ultrafinas que atraviesan la nasofaringe y las vías respiratorias conductoras pueden penetrar exitosamente en los pulmones y depositarse potencialmente en el acino. La tasa de deposición de partículas no es uniforme en todo el acino debido a los cambios en el patrón de flujo desde la entrada hasta la terminación acinar.¹⁵

El cambio en el patrón de flujo se debe a la geometría única del acino y a la mecánica de fluidos asociada con él. Las partículas de diferentes tamaños exhiben distintos patrones de deposición debido a las fuerzas intrínsecas que las afectan, como la inercia, la sedimentación gravitacional y la difusión, las cuales están principalmente determinadas por su tamaño.¹⁵

1.4 TÉCNICAS DE MUESTREO, ANÁLISIS Y MECANISMOS DE CONTROL

La recolección de muestras de bioaerosoles es un proceso complejo que requiere métodos específicos para capturar estas partículas de manera efectiva. Los métodos pueden ser activos o pasivos, cada uno con sus propias ventajas y desventajas en términos de eficacia, precisión y aplicabilidad en diferentes contextos. Elegir el método de recolección adecuado es fundamental para obtener resultados representativos y útiles en la investigación y evaluación de la exposición a bioaerosoles.^{3,9,19}

La revisión de los bioaerosoles en entornos interiores, con un enfoque especial en las técnicas de muestreo, análisis y estrategias de control, subraya la importancia crítica de estos microorganismos para la salud humana. Es fundamental caracterizar los bioaerosoles para identificar riesgos y establecer umbrales de exposición. Estos comprenden una amplia gama de agentes, como hongos, bacterias vivas o inactivas, metabolitos secundarios, virus, polen y otros elementos, todos ellos asociados con problemas de salud en humanos y animales.^{3,5,9}

La distribución de bioaerosoles varía según la estación del año, siendo más elevada en verano e invierno y más baja en primavera. Aunque la técnica de impacción es comúnmente empleada, no resulta adecuada para entornos altamente contaminados debido al problema de sobrecarga.

La técnica microscópica es la más utilizada para identificar bioaerosoles. Enfermedades como el SARS y la tuberculosis, causadas por bioaerosoles, tienen un impacto socioeconómico significativo. Existen diversos mecanismos de control, siendo el enfoque híbrido, que combina diferentes métodos, el más eficaz.^{5,9}

1.4.1 Técnicas de recolección

Las técnicas de muestreo y recolección de bioaerosoles son cruciales para monitorear la calidad del aire interior e identificar fuentes de contaminación biológica. No existe un método universal para recolectar todos los tipos de microorganismos presentes en el aire, por lo que se han desarrollado diversas técnicas prácticas. A continuación se enumeran las diversas técnicas con una breve explicación de sus ventajas y desventajas particulares.^{5,9,17,19-21}

- Impactación natural o gravitación: Esta técnica, económica y fácil de manejar, utiliza impulsores para recolectar microorganismos y partículas en el aire. Los impactadores son comunes y se emplean para capturar bioaerosoles. La eficacia de la recolección depende de la velocidad del viento y la orientación del muestreador durante el proceso. Los impactadores pueden ser de un solo estadio o en cascada, con diversas configuraciones de entradas y superficies de recolección.^{5,9,17,19-21}
- Burbujeo o impinger: Emplea un medio de recolección líquido en lugar de sólido, lo que reduce el problema de sobrecarga y pérdida debido al estrés físico en los microorganismos. No obstante, requiere procesos posteriores de cuantificación y esterilización del muestreador entre tomas de muestra.^{5,9,17,19-21}
- Filtración: Es una técnica simple y económica, pero los filtros pueden sobrecargarse en ambientes altamente contaminados, y la eficacia de recuperación puede ser baja debido a la desecación de los microorganismos en los filtros.^{5,9,17,19-21}
- Precipitación Electroestática: Reduce el estrés en los microorganismos y posee una buena eficiencia de recuperación, pero la viabilidad de las bacterias puede verse afectada por la carga eléctrica.^{5,9,17,19-21}

- **Ciclón:** Ofrece una buena eficiencia de recolección debido a la reducción de rebotes y pérdidas de partículas. No obstante, puede haber pérdida debido a la evaporación del medio líquido.^{5,9,17,19-21}
- **Precipitador Térmico:** Es eficaz para partículas más pequeñas y ayuda a determinar la distribución de tamaños de las partículas. Sin embargo, la alta temperatura puede afectar la viabilidad de los microorganismos recolectados.
^{5,9,17,19-21}
- **Técnica de Condensación:** Presenta un tiempo de procesamiento menor y permite el muestreo de partículas ultrafinas, pero es un sistema complejo que requiere experiencia para su manejo.^{5,9,17,19-21}

Cada técnica tiene aplicaciones específicas según los objetivos de muestreo y las condiciones ambientales. La elección adecuada depende del tamaño de las partículas a recolectar, la disponibilidad de recursos y la necesidad de una cuantificación precisa de los microorganismos presentes en el aire.⁹

1.4.2 Técnicas de conteo

La técnica de enumeración de microorganismos es un paso crucial en la estrategia de monitoreo de la calidad del aire interior. Se divide en dos enfoques principales: cultivables y no cultivables.^{3,9}

1.4.2.1 Enfoque cultivable

El enfoque cultivable es un método simple y de bajo costo que consiste en recolectar microorganismos presentes en el aire y cultivarlos en un medio de crecimiento semisólido. Los resultados se expresan en unidades formadoras de colonias (CFU) después de una incubación adecuada, lo que proporciona información sobre la cantidad de microorganismos presentes en la muestra. Sin embargo, este enfoque tiene una limitación significativa: solo una pequeña proporción (aproximadamente el 10%) de los microorganismos del entorno puede ser cultivada e identificada.^{3,9,19-22}

Además, las condiciones de cultivo también limitan el crecimiento de los microorganismos viables y cultivables. Por ejemplo, bacterias mesófilas como *Escherichia coli* y *Bacillus subtilis* forman colonias adecuadas a temperaturas entre 5 y 55 °C, mientras que microorganismos termófilos como *Thermoactinomyces* sp. prefieren temperaturas de cultivo superiores a 50 °C.^{3,9,19-22}

- **Microscopía:** La microscopía permite la enumeración e identificación de partículas biológicas en el aire mediante la colocación de muestras en placas de vidrio, medios semisólidos y filtros. La identificación se basa principalmente en las características morfológicas de los microorganismos y sus esporas, especialmente en el caso de los hongos. Aunque la microscopía clásica es una técnica fácil de realizar que permite identificar taxones específicos de hongos y bacterias, no representa a todos los microbios presentes en el bioaerosol.^{3,9,19-22}
- **Ensayos de conteo del número más probable (MPN):** Los métodos MPN se utilizan principalmente para la cuantificación de microorganismos presentes en muestras líquidas. Este método no realiza un conteo real, sino que se basa en cálculos estadísticos. Aunque los ensayos MPN son relativamente rápidos y fáciles de realizar, no miden el número exacto de microorganismos. Además, los

agregados de células pueden afectar los resultados, limitando la idoneidad de este método para el análisis de bioaerosoles.^{3,9,19-22}

- **Fluorescencia inducida por láser (LIF):** La LIF es un método espectroscópico utilizado principalmente para estudiar la estructura de las moléculas y la detección de especies selectivas, especialmente bacterias. Tras la recolección de muestras aéreas mediante impacción, las especies bacterianas cultivadas se excitan con un haz de luz láser, lo que resulta en la emisión de luz fluorescente que se registra. La LIF es altamente ventajosa sobre la espectroscopia de absorción debido a su alta sensibilidad de detección. Sin embargo, existe la posibilidad de medidas incorrectas ya que no todas las especies tienen la propiedad de fluorescencia.^{3,9,19-22}
- **Desorción/Ionización asistida por matriz láser-tiempo de vuelo (MALDI-TOF):** El MALDI-TOF es una técnica de ionización suave utilizada principalmente en la espectrometría de masas para analizar biomoléculas (microorganismos y biopolímeros como ADN, proteínas, péptidos, etc.) y grandes moléculas orgánicas. Aunque es económico y preciso para la identificación de especies, solo puede analizar compuestos mayores de 600 Da debido a la señal intensa de la matriz.^{3,9,19-22}
- **Espectroscopia de desintegración inducida por láser (LIBS)** LIBS es una técnica analítica de emisión espectroscópica basada en la emisión óptica que sigue a la ablación láser pulsada de una muestra. Se utiliza para la detección rápida en tiempo real de microorganismos responsables de ataques biológicos y enfermedades. La LIBS no depende de identificar diferencias genéticas entre especies, sino de la composición química inorgánica de la membrana externa. Cada técnica de enumeración tiene sus ventajas y limitaciones, y la elección de la técnica adecuada depende de los objetivos específicos del monitoreo y las condiciones ambientales. Esta técnica es particularmente útil para la identificación rápida y precisa de microorganismos en laboratorios y campos, lo que la hace valiosa para detectar agentes biológicos en ataques y monitorear la salud en entornos controlados.^{3,9,19-22}

1.4.2.2 Enfoque no cultivable

El enfoque no cultivable para el análisis de microorganismos se refiere a técnicas que permiten la detección y cuantificación de microorganismos que no pueden ser cultivados en medios de crecimiento comerciales como el agar nutritivo o el agar de Luri-Bertani. Estas técnicas son esenciales para analizar el 99% de las especies microbianas presentes en muestras ambientales, ya que la mayoría de las técnicas cultivables solo pueden analizar menos del 1% de las especies microbianas en una muestra. Las técnicas no cultivables incluyen:^{3,9,20,23}

- **Microscopía epifluorescencia:** Utiliza tinciones fluorescentes para teñir microorganismos recogidos en soluciones de tampón o filtros y contarlos mediante microscopía epifluorescencia. Diferentes tipos de fluorocromos indican la viabilidad celular mostrando diferencias en la actividad de la cadena de transporte de electrones, el potencial redox citoplasmático, la actividad enzimática, el potencial de la membrana celular y la integridad de la membrana. DAPI y acridina naranja son dos fluorocromos aplicados para el monitoreo de bioaerosoles que permiten distinguir microorganismos en base a su color.^{3,9,20,23}
- **Técnica PCR:** Amplifica una región específica del genoma a un millón de veces, haciéndola disponible para análisis adicional. La PCR convencional se ha utilizado como un método alternativo para analizar la carga bacteriana total en muestras de bioaerosoles. La PCR en tiempo real (RT-PCR) es una técnica que permite medidas precisas de las concentraciones totales de microorganismos en muestras ambientales.^{3,9,20,23}
- **Citometría de flujo:** Cuantifica tanto hongos como bacterias en base a características o estructuras celulares a través de medios ópticos. Los microorganismos deben estar en una solución acuosa, lo que requiere técnicas de muestreo como la filtración o el ciclón. La citometría de flujo puede contar miles de células en segundos, similar a la microscopía epifluorescencia.^{3,9,20,23}

- **Metagenómica y secuenciación de próxima generación:** La metagenómica permite el análisis genómico de una población de microorganismos no cultivados directamente a partir de muestras ambientales. La secuenciación de próxima generación (NGS) es una técnica que permite la secuenciación rápida y económica de ADN y ARN en comparación con la secuenciación Sanger tradicional. Aunque NGS tiene un alto costo inicial y tiempo de ejecución, es aplicable tanto a bacterias como a hongos y permite la secuenciación de fragmentos cortos de ADN.^{3,9,20,23}

Estas técnicas no cultivables han revolucionado el análisis microbiano, permitiendo la identificación y cuantificación de microorganismos en entornos ambientales sin necesidad de cultivarlos. Además, han facilitado el estudio de la diversidad microbiana y los cambios en las comunidades microbianas, lo que es crucial para entender la salud ambiental y la seguridad biológica.^{3,9,20,23}

La Electroforesis de Gradiente de Desnaturalización (DGGE, por sus siglas en inglés) es una técnica de huella genética que permite el análisis de la diversidad genética en una comunidad microbiana. Esta técnica se basa en la separación de fragmentos de ADN ribosomal amplificados por PCR en geles de poliacrilamida de alta resolución. La DGGE utiliza una temperatura constante de 60 °C y una concentración creciente de desnaturalizantes de ADN, como una mezcla de urea y formamida, para desenrollar las moléculas de ADN.^{3,9,20,23}

Durante la electroforesis, las moléculas de ADN se separan en función de su peso molecular, forma y carga eléctrica. Los fragmentos de ADN de diferentes secuencias pero de la misma longitud se separan debido a las diferencias en las temperaturas de fusión de sus dominios. Estas diferencias en las temperaturas de fusión resultan en la migración diferencial de las secuencias a diferentes posiciones en el gel.

La DGGE puede detectar casi el 50% de las variantes de secuencia hasta 500 pares de bases (bp) en los fragmentos de ADN, y este porcentaje puede aumentarse casi al 100% al añadir una "clamp" de GC (una secuencia rica en GC) en un extremo del fragmento, lo que previene la completa disociación del ADN doble en cadenas simples debido a los dominios de fusión altos.^{3,9,20,23}

En resumen, la DGGE es una técnica poderosa para el análisis de la diversidad genética en comunidades microbianas, permitiendo la detección de variantes de secuencia y la identificación de especies específicas sin necesidad de cultivar los microorganismos.^{3,9,20,23}

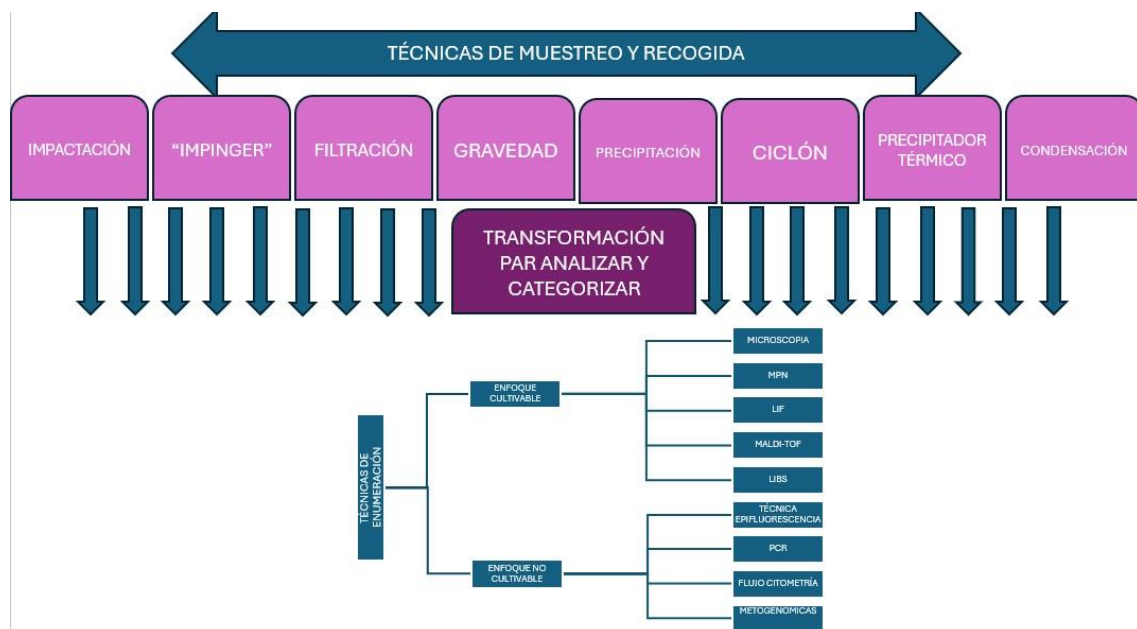


Figura 2. Técnicas de muestreo y de conteo. Elaboración propia.³

1.4.3 Mecanismos de control

Para prevenir o reducir los efectos adversos de los bioaerosoles, es esencial contar con mecanismos de control inmediatos, que incluyen la inactivación, eliminación o recolección en ubicaciones específicas. Se han desarrollado varios métodos para controlar los bioaerosoles, cada uno con ventajas y desventajas en términos de requisitos económicos e impactos ambientales.^{9,20,24}

Energía térmica: Se ha utilizado para controlar bioaerosoles en forma de calor húmedo (usando vapor bajo presión) y calor seco (alta temperatura sin humedad). La energía térmica liberada de bobinas de calefacción eléctricas es ventajosa debido a su fácil instalación en edificios y baja producción de subproductos. La exposición a temperaturas de 100-140 °C durante fracciones de segundos puede inactivar bacterias aéreas, disminuir el tamaño y concentración de bioaerosoles fúngicos, y reducir la cantidad de (1 → 3)-β-D-glucano, un agente clave en respuestas inflamatorias inducidas por bioaerosoles. Sin embargo, debido a la necesidad de conservación de energía, su uso ha sido limitado.^{9,20,24}

Emisión de iones de aire: Se ha demostrado que la emisión de iones de aire de densidad 105-106 e± cm⁻³ puede eliminar el 97% y el 95% de partículas de 0.1 μm y 1 μm, respectivamente, en el aire interior. Sin embargo, la mayoría de los estudios han mostrado el efecto de los iones de aire en microorganismos estáticos en lugar de bioaerosoles aéreos, lo que indica la necesidad de más trabajo experimental para entender completamente su efecto.^{9,20,24}

Irradiación ultravioleta (UV): La irradiación germicida UV es efectiva dependiendo de la dosis de irradiación, el contenido de humedad del aire y el patrón de movimiento del aire. La irradiación UVGI desinfecta el aire utilizando luz ultravioleta de longitud de onda suficientemente corta entre 220 y 300 nm, destruyendo el ADN del organismo y matándolo. Se requieren dosis altas para inactivar bioaerosoles fúngicos en comparación con bioaerosoles bacterianos vegetativos.^{9,20,24}

Filtros comunes: Aunque útiles para eliminar aerosoles de entornos interiores, actúan como sustrato para el crecimiento de bioaerosoles, que pueden volver a introducirse en el aire en caso de flujo de aire inverso. Se han desarrollado filtros con componentes

antimicrobianos como yodo y enzimas que rompen membranas, pero son útiles solo por un corto período debido a la acumulación de partículas de polvo.^{9,20,24}

Métodos híbridos: La combinación de diferentes métodos de control de bioaerosoles ha llevado al desarrollo de métodos híbridos, como la deposición de nanopartículas de plata sobre filtros, que han demostrado una inactivación del 99% de los bioaerosoles bacterianos. La integración de energía térmica e irradiación UV en un solo método ha demostrado mejorar la inactivación y control de bioaerosoles.^{9,20,24}

Renovación y limpieza mecánica periódica: Estas actividades han demostrado reducir los aerosoles bacterianos y fúngicos en aproximadamente un 80% y un 50%, respectivamente. Aumentar la tasa de ventilación (ventilación diluyente) mediante sistemas mecánicos o naturales es un esfuerzo individual que puede mejorar significativamente la calidad del aire interior.^{9,20,24}

En resumen, la gestión de bioaerosoles requiere una combinación de métodos de control, incluyendo energía térmica, emisión de iones de aire, irradiación UV, filtros antimicrobianos, y prácticas de renovación y limpieza, para abordar de manera efectiva los efectos adversos de los bioaerosoles en la salud humana y el medio ambiente.^{9,25}

Los bioaerosoles están presentes en la mayoría de los entornos cerrados debido a su naturaleza ubicua. Al respirar, inhalamos aproximadamente 0.5 L de aire, lo que equivale a inhalar casi 106 células microbianas al día. Los efectos potenciales de salud de los bioaerosoles son altamente diversos, incluyendo efectos tóxicos agudos, alergias, infecciones y cáncer, lo que hace esencial la evaluación de los bioaerosoles. Sin información detallada sobre técnicas de muestreo y enumeración, la interpretación del nivel de exposición es muy difícil. Por lo tanto, es crucial conocer tanto las ventajas como las desventajas de todos los métodos antes de decidir cuál es el más adecuado para su uso.^{9,16}

A pesar de los numerosos estudios realizados sobre los efectos de salud de los bioaerosoles, ninguno ha proporcionado una relación dosis-respuesta adecuada que pueda describir los límites de exposición de los bioaerosoles que podrían ser aceptados y seguidos internacionalmente. Esto se debe principalmente a la falta de un conjunto de datos de dosis-respuesta válido, al empleo de diversas metodologías de medición para

los bioaerosoles, a la insuficiente cuantificación en tiempo real y a la identificación de microbios aéreos, así como a la heterogeneidad del rango de los efectos de salud.^{3,9}

Se enfatiza la necesidad de enfoques mecánicos híbridos para el muestreo y el control, así como la necesidad de mejorar la epidemiología de los bioaerosoles, que se considera subestimada y en una etapa prematura^{3,26}

Para superar los desafíos en la investigación futura de bioaerosoles, es crucial abordar tanto los desafíos técnicos como los metodológicos y científicos.^{3,18,23,26}

Desafíos Técnicos

- Estándarización de estrategias de recolección: La falta de un sampler universal y la dependencia de la elección de la herramienta analítica en la técnica de muestreo específica son obstáculos. Aunque los avances en secuenciación de genes ayudan a indexar la diversidad de ensamblajes microbianos, no proporcionan información precisa.^{3,18,23,26}
- Sistemas de monitoreo en tiempo real mejorados: La necesidad de monitoreo de alta resolución en tiempo real para detectar momentos clave en la atmósfera requiere sistemas de monitoreo confiables y tecnologías de detección específicas.^{3,18,23,26}
- Introducción de nuevas tecnologías: El desarrollo de tecnologías emergentes, como aviones no tripulados, drones, sondas de Tether, impresión aditiva (impresión 3D) y tecnologías de detección microfluídica, puede mejorar la calidad, cantidad y escala de las mediciones de bioaerosoles.^{3,18,23,26}
- Periodos de medición extendidos en sitios: La incorporación de mediciones de bioaerosoles en campañas de medición a gran escala puede enriquecer las descripciones bien documentadas de meteorología, química y física con información biológica.^{3,18,23,26}

Metodología para Analizar el Intercambio de Bioaerosoles de la Superficie a la Atmósfera

- Especificidad en la detección de bioaerosoles: La demanda de unidades colectoras portátiles con capacidades analíticas para enumerar e identificar partículas de bioaerosoles en tiempo real es alta, especialmente en la industria de procesamiento de alimentos.^{3,18,23,26}
- Anclaje de trazadores para especificar la edad de los bioaerosoles: La dinámica de los bioaerosoles y su interacción con el medio ambiente requieren el desarrollo de mecanismos específicos para determinar su edad y comprender su comportamiento.^{3,18,23,26}

Problemas Científicos Presentes

- Aproximaciones de fuentes y flujos: La falta de datos de flujo limita la capacidad de rastrear bioaerosoles desde la fuente de emisión hasta la capa atmosférica cercana, dejando muchas preguntas sin respuesta sobre la emisión de bioaerosoles de diversas fuentes.^{3,18,23,26}
- Distribución espacial: La comprensión de la distribución de bioaerosoles a través de una población en función de condiciones climáticas, ecología y epidemiología es crítica, así como la transferencia de organismos biológicos a capas superiores de la atmósfera.^{3,18,23,26}
- Variaciones en la propagación: Los cambios ecológicos masivos afectan la distribución de la vida en todos los reinos, requiriendo conocimientos profundos y monitoreo continuo para determinar el impacto de los cambios cíclicos de bioaerosoles en las actividades humanas.^{3,18,23,26}
- Propiedades relevantes para el clima: La naturaleza higroscópica, actividad y nucleación de los bioaerosoles son factores importantes en la determinación de la relación entre el medio ambiente, el clima, la salud y la importancia económica.^{3,18,23,26}

- Para superar estos desafíos, es esencial la colaboración interdisciplinaria, el desarrollo de nuevas tecnologías y herramientas de monitoreo, y la integración de datos de diversas fuentes para una comprensión más completa de los bioaerosoles y su impacto en la salud y el medio ambiente.^{3,18,23,26}

1.5 “SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO”

El Síndrome de Edificio Enfermo (SBS) es un problema de salud relacionado con la calidad del aire interior que afecta principalmente al sistema nervioso, la piel y el sistema respiratorio. Se define por síntomas que aparecen en un entorno cerrado, desaparecen después de abandonar el edificio y afectan a la mayoría de las personas que viven en él. Los síntomas comienzan dentro de unas pocas horas después de entrar al interior y se resuelven en 30 minutos a varias horas después de salir del edificio.^{7,17,27}

La ventilación inadecuada, la contaminación química y microbiana son las principales causas del SBS en edificios con aislamiento térmico prominente. Los factores de riesgo para la salud en entornos construidos incluyen biológicos (como mohos y bacterias), químicos (como productos de construcción y hogar, formaldehído, ftalatos), físicos (como parámetros de confort térmico, ruido, campos electromagnéticos), psicosociales (como el estrés ocupacional, el estado social), personales (como el género, características individuales, estado de salud) y otros (como la ubicación, características del edificio, presencia de insectos).^{7,17,27}

El SBS puede ocurrir en lugares de trabajo como edificios de oficinas, universidades y hospitales, y una mala calidad del aire interior puede llevar a brotes de enfermedades infecciosas o relacionadas con el edificio.^{7,28-30}

El Síndrome de Edificio Enfermo (SBS) se define como una condición que afecta a quienes viven o trabajan en edificios modernos y que sufren síntomas como dolor de cabeza, fatiga, falta de concentración e irritación de la piel y membranas mucosas. La ventilación y el aire acondicionado son factores importantes en el origen del SBS. Una solución a la contaminación del aire interior y, por ende, a condiciones como el SBS podría ser las prácticas de construcción sostenible. Los edificios verdes pueden contribuir a la construcción sostenible utilizando principios de eficiencia energética y asequibilidad.³⁰⁻³²

Los edificios verdes promueven innovaciones como el uso de cenizas volantes, iluminación LED, inodoros compostables, recolección de agua de lluvia, entre otros, diseñados para mejorar la vida y la salud humana mientras protegen el medio ambiente.

La construcción verde implica principios de eficiencia en el uso de recursos, una reducción en la degradación ambiental y la contaminación a lo largo del ciclo de vida del edificio.^{32,33}

En países industrializados, las personas pasan aproximadamente el 90% de su vida en interiores, incluyendo oficinas, hogares, centros deportivos y vehículos de transporte. La crisis energética de 1973 llevó a una disminución en el cambio de aire en oficinas y hogares, reduciendo el número de cambios de aire por hora de 2 a 0.2 o 0.3 y disminuyendo la cantidad de aire fresco por persona de 20-30 ft³/persona a 5 ft³/persona. Esto resultó en capacidades de ventilación más bajas, acumulación de contaminantes del aire interior y una mayor exposición de los ocupantes, comprometiendo así la salud.^{32,33}

La aplicación de doble vidriado para ahorrar energía minimizó la ventilación natural, mientras que las fuentes de contaminación del aire interior también aumentaron debido al uso de nuevo equipo de oficina, decoración y facilidades. Los estudios han mostrado que la exposición de los ocupantes a los contaminantes del aire interior es 100 veces mayor que su exposición a los contaminantes del aire exterior. La concentración de los contaminantes del aire interior fue encontrada ser 2-4 veces mayor que la de los contaminantes del aire exterior. En 1983, la Organización Mundial de la Salud (OMS) utilizó por primera vez el término "Síndrome de Edificio Enfermo" para describir situaciones en las que los ocupantes de edificios experimentan efectos de salud y comodidad agudos que parecen estar vinculados al tiempo pasado en un edificio, pero no se puede identificar una enfermedad o causa específica. Se cree que el SBS es la principal causa de la ausencia de trabajo y la baja eficiencia de los empleados y empleados.^{30,31,34}

Según la OMS, aproximadamente el 30% de los nuevos y renovados edificios en todo el mundo pueden verse afectados por el SBS, y se ha demostrado una prevalencia mucho mayor en el entorno hospitalario que en otros edificios públicos. Los síntomas del SBS incluyen dolor de cabeza, fatiga, irritación ocular, y otros síntomas como sequedad en la piel, dificultad para concentrarse, fatiga, sensibilidad al olor, tos seca, alergias, resfriados, ataques de asma y cambios de personalidad. El SBS disminuye la productividad de las personas e incrementa el absentismo laboral al causar enfermedades, fatiga y agotamiento. Se ha demostrado que la productividad mejora

entre un 7% y un 15% con la mejora de las condiciones de vida de los trabajadores en el lugar de trabajo y que el absentismo laboral debido a la enfermedad o la voluntad disminuye significativamente.^{8,28,32}

Se han realizado numerosos estudios a nivel global para investigar las sustancias químicas en interiores y su influencia en la salud con el objetivo de prevenir el síndrome de edificio enfermo (SBS), cuyos síntomas incluyen irritación mucosa y síntomas alérgicos, asociados al tiempo pasado en un edificio específico.^{7,29,30}

Se han creado manuales para consulta y medidas de contrapeso basados en evidencia científica. Varios factores internos causan afecciones físicas, incluyendo factores químicos, biológicos, físicos y sociales y psicológicos de los residentes. El SBS está asociado con la conciencia de los residentes para mejorar la calidad del aire interior mediante ventilación, limpieza y cambios en el estilo de vida.^{7,29,30}

Además, el desarrollo de viviendas de nueva generación, altamente aisladas y herméticas, genera preocupación por un aumento en espacios de vida donde las sustancias químicas son más propensas a acumularse en comparación con las casas convencionales. A pesar de los estudios previos sobre entornos interiores y el inicio del SBS o síntomas alérgicos, con cambios en el entorno de vivienda a lo largo del tiempo, es importante continuar investigando y evaluando los impactos de los entornos interiores en la salud.^{29,34}

La asociación entre el Síndrome de Edificio Enfermo (SBS) y los parámetros del aire interior en dos edificios de oficinas de la Organización de Salud de la Industria del Petróleo. La iluminación deficiente es la principal causa de mala salud en las oficinas, y se observó una mayor prevalencia de síntomas entre las mujeres que entre los hombres. Los factores de riesgo relacionados con el género incluyen el equipo de trabajo, las características del trabajo, la satisfacción laboral, la alergia autoinformada, el número de individuos por habitación y fumar tabaco.³¹

Las principales causas del SBS son; el reciclaje de aire en habitaciones usando coils de ventilación, ruido del tráfico, iluminación deficiente y edificios ubicados en un área metropolitana contaminada. Se encontró una correlación significativa entre la

intensidad de la luz y algunos síntomas como condiciones de la piel, dolor ocular y mala salud.³¹

También se ha encontrado una correlación entre la temperatura de la oficina y algunos síntomas del SBS, como estornudos, enrojecimiento de la piel, ojos picados y dolor de cabeza. La exposición a CO₂ puede causar mareos, dolor de cabeza, náuseas, irritación nasal, sequedad de garganta, dificultad respiratoria y mala salud.^{31,34,35}

La humedad relativa mostró una asociación significativa con estornudos, enrojecimiento de la piel y dolor ocular.^{27,31,34}

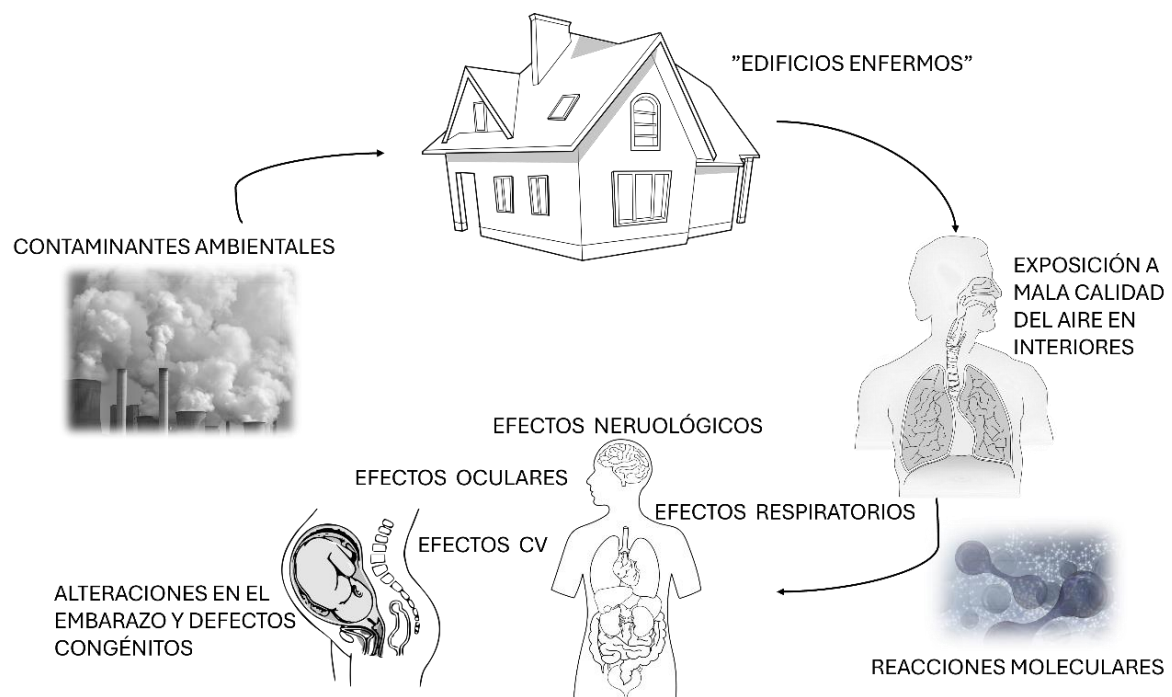


Figura 3. Calidad del aire en interiores y sus efectos. Elaboración propia³⁵

La calidad del aire interior (IAQ) es un elemento crucial para la salud y el bienestar de las personas, pero existe una falta de conciencia sobre su cuantificación, identificación y efectos en la salud. Los contaminantes como VOCs (Compuestos Orgánicos Volátiles), PM (partículas), SO₂, CO, NO, PAHs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos), esporas microbianas, polen, alérgenos, entre otros, contribuyen a la deterioración de la IAQ. Este resumen aborda las fuentes de estos contaminantes, los mecanismos de toxicidad molecular y sus efectos en la salud cardiovascular, ocular, neurológica, en mujeres y en el embarazo.³⁴⁻³⁶

Se destacan estrategias contemporáneas y métodos sostenibles para regular y reducir las concentraciones de contaminantes, así como iniciativas actuales para mejorar la IAQ. Las mujeres y los niños están más en riesgo debido a sus tiempos de exposición más largos. La contaminación del aire interior puede causar problemas de salud como estrés oxidativo, metilación del ADN, modificaciones epigenéticas, activación de genes, y enfermedades como bajo peso al nacer, infecciones respiratorias agudas, síndromes de edificio enfermo (SBS), y una mayor prevalencia de enfermedades pulmonares crónicas, cáncer de pulmón, y trastornos cardiovasculares. Es crucial reconocer las necesidades de investigación anticipadas y las intervenciones eficientes implementadas para reducir los riesgos para la salud.^{2,30,35}

La materia particulada (PM) es uno de los principales contaminantes del aire que se libera directamente y se caracteriza por partículas de carbono combinadas con metales reactivos y compuestos orgánicos adsorbidos. Los componentes principales de la PM incluyen sulfatos, nitratos, endotoxinas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y metales pesados (hierro, níquel, cobre, zinc y vanadio).

La PM se divide en tres categorías según su tamaño: partículas gruesas (PM₁₀), partículas pequeñas (PM_{2.5}) y partículas ultrafinas (PM_{0.1}). La PM es preocupante porque puede ser inhalada ocasionalmente, afectando negativamente el corazón y los pulmones. Se ha demostrado que los niveles de PM en interiores a menudo superan los niveles al aire libre.^{16,18}

. Las partículas que migran desde el exterior hacia el interior y las partículas producidas por actividades en interiores son dos fuentes de PM en interiores. Las partículas finas (PM_{2.5}) son uno de los principales factores de riesgo para la salud ambiental debido a su capacidad de penetrar profundamente en los pulmones. Las partículas gruesas no pueden entrar en el sistema respiratorio inferior y, por lo tanto, no pueden desencadenar efectos de salud. La materia particulada en suspensión, como las partículas de 0.65–1.1 µm, es capaz de penetrar y dañar las áreas alveolares del pulmón.^{27,35,37}

1.6 CONTEXTO ACTUAL DE LOS BIOAEROSOLES Y EL MEDIO AMBIENTE

La calidad del aire, una comodidad vital, se está deteriorando rápidamente debido a las actividades industriales y antropogénicas de la civilización global moderna. La población mundial actual de 7.5 mil millones en 2017 se espera que se duplique a 10 mil millones para 2050, lo que resultará en un aumento dramático en la demanda de alimentos y productos de ganado. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) tiene como objetivo un aumento del 70% en la producción de alimentos para 2050 para satisfacer las necesidades de la población creciente. Como resultado, los contaminantes aéreos, conocidos como bioaerosoles, también aumentarán dramáticamente.^{3,19}

Los bioaerosoles son un subconjunto de partículas atmosféricas, con un diámetro de partícula en el rango de 10 nm a 100 mm, que se expulsan en la atmósfera desde la biosfera. Los constituyentes primarios de los bioaerosoles incluyen organismos vivos y muertos como algas, arqueas, bacterias, esporas fúngicas, polen de plantas, fragmentos de residuos vegetales. La dispersión patogénica de bioaerosoles desde diversas fuentes, como humanas, vegetales y animales, tiene un impacto potencial en el medio ambiente y la salud humana.^{3,4,6,38}

Aunque se ha establecido que los bioaerosoles existen en abundancia y son omnipresentes en la biosfera, su relación con las ubicaciones geográficas, zonas climáticas y distribución continental no se ha aclarado. Debido a su tamaño pequeño y peso ligero, los bioaerosoles se mueven rápidamente entre entornos. En el entorno terrestre, los bioaerosoles son producidos por plantas y suelos, aunque interesantemente, la deposición sobre la superficie de las hojas es cuatro veces mayor que la del suelo debido a la mayor área de superficie de las hojas. Por lo tanto, la fuente de bioaerosoles tiene una mayor importancia en la evaluación y comprensión de los fenómenos comportamentales, y las fuentes de emisión se limitan a entornos interiores y exteriores.^{3,21}

Las contaminaciones interiores son principalmente a través de emisiones humanas como toser, estornudar, hablar o respirar, la liberación directa de partículas de células de piel desprendidas y cabello, que todas influyen fuertemente en las poblaciones bacterianas aéreas. La fuente exterior incluye océanos, vertederos abiertos, áreas no utilizadas y vertederos abiertos, entre otros, que conducen al estrés ecológico.^{3,39}

Además de las fuentes habituales de microorganismos biológicos en entornos interiores y exteriores, otra fuente significativa son los cuerpos de agua. Debido a que los cuerpos de agua cubren hasta el 70% del planeta, son hogar de una variedad de organismos, tanto vivos como muertos, que se transmiten a través de vías sopladadas por el viento.^{3,22,40}

Para realizar una estimación o predicción formal sobre la naturaleza de la población de bioaerosoles, es necesario identificar las fuentes ambientales y sus características. Los bioaerosoles se producen en una variedad de entornos ocupacionales, incluyendo la clasificación y compostaje de residuos, actividades agrícolas y de conservación de alimentos, y la industria de la ganadería, entre otros. Tanto el aire interior como el exterior contienen bioaerosoles, y el aire exterior es la principal fuente de crecimiento de bioaerosoles interiores a través de la ventilación, materiales de construcción, muebles, ocupantes, mascotas, plantas de interior y residuos orgánicos.^{3,40}

Los bioaerosoles interiores son una mezcla de partículas ambientales que han infiltrado interiores, partículas emitidas interiormente y partículas formadas interiormente a través de una reacción en fase de gas. Las superficies de esquina interior son ideales para el crecimiento, propagación y mutación de bioaerosoles. Las fuentes emisoras, en particular, son circuitos cerrados con áreas de ventilación baja o nula, como las UCI de hospitales, aulas de escuelas, áreas de actividad doméstica y medios de transporte, etc. Los artrópodos, mascotas, esporas bacterianas y fúngicas de varios tamaños son organismos biológicos comunes encontrados en el entorno interior. Además, el crecimiento y la propagación están asociados con las emisiones de materiales mohosos, actividades humanas como el uso de electrodomésticos, disturbios mecánicos y el intercambio de corrientes de aire entre los entornos interiores y exteriores. La predominancia de bioaerosoles en el entorno interior se atribuye a la baja tasa de flujo de aire, humedad y temperatura.^{3,7,14}

Los bioaerosoles exteriores incluyen polen, hongos, bacterias, virus y alérgenos animales. En algunos casos, las partículas de granos de polen y esporas fúngicas son críticas, mientras que en otros casos, las bacterias, algas, musgos y helechos, protozoos y virus representan el impacto.^{3,40}

Los bioaerosoles exteriores tienen un rango de tamaño aerodinámico entre 1 y 100 μm , con un recuento aproximado de $<1\text{--}10^6$ partículas por m^3 de aire. Estos bioaerosoles son omnipresentes tanto a nivel del suelo como en altitudes elevadas, pero su presencia aún no se ha establecido por encima de la troposfera. Estos bioaerosoles exteriores poseen bajas tasas metabólicas y, al ser agravados bajo condiciones críticas de temperatura, humedad y viento, interactúan con las partículas y los organismos, resultando en polinización, colonización de nuevos sustratos y rápida mutación causando trastornos genéticos tanto en plantas como en seres humanos.⁴⁰

A diferencia de los sistemas de monitoreo de calidad del aire en tiempo real (PM), no existe una técnica de cuantificación para rastrear y monitorear bioaerosoles en tiempo real. Aunque los impactos de los bioaerosoles exteriores están altamente subestimados, la intensidad e impacto de estas dispersiones microbianas atmosféricas son extremadamente peligrosos, como se revela a través de brotes virales como COVID-19, SARS e influenza, entre otras epidemias.^{3,4,9}

Desde una perspectiva funcional, los bioaerosoles se clasifican en tres categorías principales:^{3,4,40}

- La primera fracción comprende organismos vivos, como bacterias, arqueas, hongos, líquenes y microalgas. Tienen la tendencia a auto-catalizarse en el entorno atmosférico, ajustar las propiedades de la superficie y colonizar nuevos entornos.^{3,4,40}
- La segunda fracción de bioaerosoles son propagables, es decir, esporas fúngicas, esporas bacterianas, polen y virus, que son metabólicamente inactivos en la atmósfera pero actúan como unidades reproductivas o de dispersión entre plantas, huéspedes patógenos y entornos.^{3,4,40}

- La última fracción de bioaerosoles comprende fragmentos microbianos, vegetales o animales y exudados que pueden ser aerosolizados por sí mismos o adjuntos a partículas no biológicas como partículas minerales o salinas.^{3,4,40}

Además de esta clasificación, en general, los bioaerosoles se agrupan en viables y no viables. Los bioaerosoles viables incluyen bacterias, hongos, virus y algas, mientras que las formas no viables incluyen endotoxinas y proteínas.^{3,25}

La ciencia de determinar el origen de las emisiones de bioaerosoles en la atmósfera se conoce como tecnología de "caja negra" en aerobiología. Los bioaerosoles se forman en la atmósfera terrestre y son más abundantes en la atmósfera inferior, también conocida como la capa límite planetaria (PBL). Es crucial entender la PBL, que define el transporte, la propagación y la distribución de organismos y especies de bioaerosoles. Además, los bioaerosoles se forman a través de una variedad de procesos, incluyendo la explosión de burbujas, erosión, dispersión activa y pasiva, y la interacción mecánica entre superficies.^{3,41}

En general, los cuerpos de agua abiertos son las principales fuentes de bioaerosoles ambientales, lo cual es significativo dado que los cuerpos de agua cubren casi tres cuartos de la Tierra. La superficie del agua está cubierta por una microcapa de pocos cientos de metros de espesor, con contacto directo intenso con la atmósfera. Esta microcapa proporciona un entorno único para microorganismos biológicos de orden superior, como bacterias, virus, hongos, lípidos, carbohidratos, polisacáridos, aminoácidos y proteínas, etc.^{3,41}

Existen dos tipos de bioaerosoles liberados en el medio ambiente: activo y pasivo. La liberación activa se refiere a factores ambientales como la temperatura y la humedad que desencadenan el mecanismo biológico inherente. Esto es más común en el caso de hongos y especies de polen, y la liberación de gotas, en conjunto con la emisión fúngica, sirve como la plantilla primaria de aerosol biogénico. En general, estas liberaciones activas de bioaerosoles de humanos o animales se transmiten fácilmente en forma de gotas a través de estornudos o toses, y por lo tanto, el mecanismo activo se define como la agitación mecánica de microorganismos además del viento. Por otro lado, la liberación pasiva es la perturbación de un organismo en presencia de fuerzas externas que dominan las fuerzas de unión entre la partícula y la superficie. Las

perturbaciones del viento y el impacto de las gotas de lluvia son las fuerzas externas más comunes. La liberación de partículas cuyo origen son las emisiones antropogénicas se clasifica en la categoría de liberación pasiva.^{3,41}

La erosión, el desalojo y el daño por abrasión otro tipo de perturbaciones que afectan a los bioaerosoles sobre tierra, desiertos y plantas. La velocidad del viento y el contenido de humedad son los factores primarios de la tierra y la arena que controlan la suspensión de partículas en el aire. La suspensión por viento es más común y frecuente en tierras agrícolas, pero las velocidades de viento mayores a 4-10 m/s causan suspensión del suelo desde las arenas. Bajo la filosfera, los materiales biológicos se liberan de las plantas como resultado de la abrasión causada por la precipitación provocada por el viento en la superficie de la hoja.^{3,40,41}

Otro proceso que genera aerosoles a partir de fuentes de agua es la explosión de burbujas. El proceso se clasifica de tres maneras: en aguas abiertas como olas rompiendo burbujas, películas y gotas de chorro de burbujas. Entre estos, las películas de gotas se forman como resultado de una película delgada de agua que se colapsa separando la burbuja del aire antes de estallar, mientras que las burbujas de chorro se forman como resultado de burbujas que se colapsan. Cuando se compara con la concentración a la que se produce el aerosol, la cantidad de materia biológica liberada por la disrupción de la burbuja es de varios órdenes de magnitud mayor. Además, los microorganismos también se propagan por la explosión de burbujas cuando una gota de lluvia golpea la superficie del suelo. Por lo tanto, es claro que el tamaño de la burbuja, las propiedades de humedad de la superficie y la velocidad de impacto tienen un impacto directo en la generación y propagación del aerosol.^{3,41}

Las emisiones de sistemas hechos por humanos, como la agricultura, el desecho industrial, el compostaje, el tratamiento de aguas residuales, etc., que ocurren como resultado de disturbios mecánicos, entran en esta categoría. Las técnicas de gestión de residuos, por ejemplo, involucran liberaciones activas o episódicas durante el ciclo operativo de descarga, molido, mezcla, clasificación, aireación, etc. Estas liberaciones episódicas varían dependiendo del tamaño de la partícula, la carga superficial, las condiciones ambientales, la velocidad del viento, la humedad tanto en el aire como en la superficie, la intensidad de los disturbios mecánicos, etc. Las emisiones de bioaerosol

más comunes de sistemas humanos son los bioaerosoles fugitivos como *A. fumigatus* y actinomicetes.^{3,25,40}

Otro aspecto crítico de la mutación de bioaerosoles es el intercambio de aire entre entornos interiores y exteriores. Este intercambio de aire es un fenómeno común y puede clasificarse como fugas, ventilación natural y ventilación mecánica. La fuga no intencional ocurre en envoltorios cerrados a través de puertas, hendiduras, espacios de ventanas, etc. La ventilación natural es el intercambio deliberado de aire interior y exterior a través de puertas y ventanas. En ambos casos, el flujo de aire es impulsado por la diferencia de presión entre la fuente y el sumidero, el gradiente de temperatura y el viento. Finalmente, la ventilación mecánica es una disposición artificial que tiene en cuenta la altura del edificio, las islas de calor urbano, etc. La diferencia de presión entre los envoltorios del edificio y las disposiciones ventiladas al aire impulsa el flujo de aire en el caso de la ventilación mecánica.^{3,41}

Debido a su pequeño tamaño y masa ligera, los bioaerosoles pueden ser fácilmente transportados de un entorno a otro. Muchos microbios han desarrollado mecanismos para propagarse en la atmósfera porque el aire proporciona un camino eficiente para el transporte rápido a largas distancias. Las partículas de bioaerosol a menudo permanecen en la atmósfera durante más de una semana antes de la deposición en el suelo, y algunas partículas pueden llegar a la estratosfera, extendiendo aún más su vida atmosférica. El mayor desafío con estas partículas es que viajan miles de kilómetros en el aire; mientras que la mayoría de ellas se transforman, el resto se inactiva debido a exposiciones físicas y químicas.^{3,40,41}

En general, las partículas biológicas emitidas en la superficie se liberan en la capa límite planetaria (SBL) donde son influenciadas por una variedad de factores como la hora del día, la temperatura, la velocidad del viento, el tipo de terreno, etc.^{3,40,41}

En detalle, las regiones con gradientes verticales, variables turbulentas predominan debido a la proximidad de la superficie, con alta turbulencia resultando en una propagación más rápida de partículas y una fácil dispersión de partículas. En el caso de las copas de plantas con extensiones verticales significativas, se forma una subcapa en la parte inferior de la SBL, que se caracteriza por altas remolinos y rápida dispersión de microorganismos. Además, debido a la disminución de la concentración del aire y los

flujos de deposición con la distancia, las partículas en la SBL, particularmente el polen, son propensas a la deposición/dispersión dentro de una corta distancia de la fuente.^{3,40}

En algunos casos, fracciones de partículas, particularmente partículas más ligeras con velocidades de deposición lentas como las bacterias, se incorporan por encima de la capa límite. Por lo tanto, permanecer viables durante un período más largo en entornos inhóspitos y depositar en nuevos lugares hace que el microorganismo comience un nuevo lote y la vida comience.^{3,40}

Para siglos, se ha sabido que la evolución de microbios a nivel de grupo ha adaptado para volverse aéreos con cambios en el clima local y las velocidades del viento, un modo más común de dispersión microbiana. En conclusión, parámetros clave como la altura, la velocidad y la morfología de la superficie de las partículas tienen una fuerte influencia en el transporte de bioaerosoles. Los hongos se dispersan rápida y fácilmente debido a la capacidad de autoexclusión de sus poros, que otros microorganismos carecen, requiriendo un paso adicional.^{1,3,42}

Durante el transporte y la dispersión de bioaerosoles de un lugar a otro, la estructura de las partículas se transforma/altera debido a la coagulación, con restructuración y evaporación o condensación. La colisión de partículas durante la coagulación tiende a formar unidades más grandes, y la tasa de coagulación tiende a aumentar con la concentración (N₂) y es así más rápida en entornos contaminados.^{1,3,42}

El segundo fenómeno de restructuración ocurre como resultado de la absorción de agua a mayor humedad y aumentada tensión superficial, o como resultado de la formación de gotas.^{3,14,48}

Finalmente, después de la dispersión/deposición, hay un serio factor de exposición, que es la principal amenaza para las especies vivas y causa graves riesgos para la salud. La exposición a microorganismos tiene el potencial de causar enfermedades, infecciones, alergias.^{3,25}

1.7 IMPACTO DE LOS BIOAEROSOLES EN LA SALUD Y EN LA ENFERMEDAD

La transmisión de enfermedades infecciosas a través de bioaerosoles, tanto infecciosos como no infecciosos, es un fenómeno cotidiano. La transmisión de agentes de enfermedad a través del aire puede ocurrir localmente desde aerosoles grandes (> 10 mm) o más comúnmente desde aerosoles más pequeños y núcleos de gotas menores de 5 mm. Estos bioaerosoles más pequeños permanecen en el aire durante períodos más largos y se distribuyen a mayores distancias, facilitando la transmisión de la infección desde una persona a un gran número de individuos.^{1,2,37}

La manipulación de suelos o barrido de polvo contaminado con heces de roedores también puede llevar a la infección. Las enfermedades zoonóticas pueden surgir al trabajar en granjas de confinamiento de ganado o instalaciones de animales. Estar cerca de individuos contagiosos en áreas cerradas aumenta significativamente el riesgo de desarrollar enfermedades. La exposición a aerosoles inhalables que contienen virus o bacterias infecciosas es común en invierno, cuando se pasa más tiempo en interiores, las tasas de ventilación se reducen, y las personas tosen y estornudan, generando bioaerosoles.^{1,9}

La exposición a estos bioaerosoles ha sido asociada con una variedad de enfermedades respiratorias y alérgicas. Los bioaerosoles contribuyen aproximadamente del 5% al 34% de la contaminación por partículas en el aire interior, con fuentes que incluyen fuentes exteriores, materiales de construcción, muebles, ocupantes, mascotas, plantas de interior y residuos orgánicos. Las actividades humanas cotidianas también pueden generar bioaerosoles. Sin embargo, las condiciones ambientales básicas, como la temperatura y la humedad, pueden influir significativamente en la formación y dispersión de estos bioaerosoles. Aunque la importancia de los bioaerosoles y su impacto en la salud humana se reconoce, es difícil describir con precisión su papel en la iniciación o empeoramiento de diversas enfermedades y síntomas.^{4,9,37}

Las enfermedades infecciosas asociadas con bioaerosoles pueden transmitirse fácilmente donde hay agrupación de personas, como centros de atención infantil, escuelas, clínicas de salud, instalaciones correccionales, dormitorios, cuarteles o

refugios para personas sin hogar. Los entornos ocupacionales en el sector de servicios pueden colocar a un gran número de trabajadores en un espacio compartido, lo que lleva a un aumento en la transmisión de enfermedades.^{1,2,4}

Como consecuencia del tratamiento de pacientes con estas enfermedades, los trabajadores de la salud están en riesgo aumentado de exposición a estos bioaerosoles virales y bacterianos. La atención aumentada a la aislación de pacientes contagiosos, la vacunación, la mejora de la filtración del aire, el control de animales de compañía y experimentales en instalaciones de salud, el manejo de la lavandería hospitalaria y el uso de respiradores apropiados (N95 o N100) puede ayudar a reducir los riesgos.^{1,2}

Las enfermedades infecciosas pueden surgir de exposiciones episódicas debido a errores de ingeniería, fallas de mantenimiento o exposiciones inusuales, como brotes de neumonía por *Legionella* causados por la contaminación de torres de enfriamiento de edificios, condensadores evaporativos, y el uso de agua sin biocidas en spa, aparatos de oficinas dentales y productos en tiendas de comestibles.^{1,4}

La preocupación global por la transmisión de la gripe es creciente, con la pandemia de 1918-1919 que mató a casi 50 millones de personas en todo el mundo destacando la importancia de prevenir futuras pandemias. La gripe puede transmitirse desde aves o porcinos, y las cepas con alta transmisibilidad, como H5N1, continúan evolucionando.^{1,2}

Las estrategias de control más efectivas incluyen la matanza de aves en áreas infectadas, la prohibición de mercados de animales vivos, la mejora de la sanidad, la vacunación de aves y la vigilancia con rebaños de vigilancia. Los trabajadores que estudian agentes de bioterrorismo tienen riesgos específicos de los agentes que manejan, incluyendo *Bacillus anthracis* (antrax), *Yersinia pestis* (peste), *Francisella tularensis* (tularemia), filovirus (fiebre hemorrágica por el virus de Marburg y Ébola) y virus arenavirus (fiebre hemorrágica por el virus de Lassa y una variedad de fiebres hemorrágicas). Estos trabajadores suelen estar vacunados contra 20 o más agentes y están sujetos a operaciones de bioseguridad extremas y a una serie de controles administrativos y de ingeniería. Los síntomas respiratorios son los efectos de salud más comunes asociados con la exposición a bioaerosoles y generalmente resultan de la

inflamación de las vías respiratorias causada por exposiciones a toxinas, agentes proinflamatorios o alérgenos.^{1,2,10}

En resumen y como se ha explicado anteriormente, la presencia de bioaerosoles se ha vinculado a diversas enfermedades humanas, incluyendo síntomas infecciosos/respiratorios y cáncer. Estos bioaerosoles, que son partículas aéreas muy pequeñas originadas biológicamente de plantas y animales, se encuentran en la mayoría de los entornos cerrados debido a su presencia generalizada en la naturaleza. Las concentraciones de bioaerosoles pueden ser aún más altas en interiores. Aumentar la tasa de ventilación mecánica o natural y realizar actividades regulares de limpieza y mantenimiento puede mejorar significativamente la calidad del aire interior.^{2,43,44}

Sin embargo, incluso bajo condiciones ideales de mantenimiento preventivo, persisten las posibilidades de exposición a bioaerosoles. Dada la existencia de muchas incertidumbres en la evaluación de la exposición, como herramientas de cuantificación de riesgos mal desarrolladas, es necesario desarrollar esfuerzos para resolver estos problemas. Existen diversas técnicas microbiológicas no ideales para la muestreo y análisis de bioaerosoles, lo que ha generado confusión y muchas malinterpretaciones. Hasta que se introduzcan nuevas y confiables técnicas, se recomienda emplear un protocolo común para su cuantificación basado en métodos actualmente disponibles, para ofrecer una base casi uniforme que permita la comparación cruzada entre diferentes conjuntos de datos experimentales. Por lo tanto, se desea más investigación para establecer adecuadamente mejores herramientas de evaluación para la exposición a bioaerosoles y su validación.^{2,4}

En la literatura científica también se ha observado una mayor prevalencia de problemas de salud mental en áreas urbanizadas y con la creciente evidencia sobre los beneficios para la salud mental de los espacios verdes. Las asociaciones entre los indicadores de densidad y las malas condiciones de salud mental se mediaron parcialmente por la contaminación del aire. La densidad de edificios, la densidad de población, la densidad de intersecciones y la riqueza de instalaciones estaban positivamente asociadas con la absorción de NO₂, PM₁₀ y/o PM_{2.5}, que estaban positivamente asociadas con malas condiciones de salud mental.^{33,45,46}

La exposición a partículas finas (PM) induce estrés oxidativo y nitrosativo, inflamación sistémica y neuroinflamación, siendo neurotóxica y asociada con cambios estructurales en el cerebro. Estos efectos pueden afectar la producción de hormonas del estrés y estar relacionados con resultados a corto y largo plazo en la salud mental, como la depresión y la psicosis. La inflamación y el estrés oxidativo y nitrosativo pueden actuar como vías mediadoras para otros factores de riesgo para la depresión, como el estrés psicosocial, la inactividad física, la obesidad y la falta de sueño. Estudios en animales han mostrado cambios en los niveles de neurotransmisores del SNC y la activación de las células gliales tras la exposición a PM, así como respuestas depresivas en ratones expuestos a PM2.5.^{47,48}

Además, se ha encontrado una prevalencia aumentada de lesiones en la materia blanca prefrontal en niños de áreas altamente contaminadas en comparación con áreas rurales, lo que sugiere mecanismos relevantes para los impactos en la salud mental. La interrupción del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA), que regula las respuestas al estrés, ha sido identificada como un factor etiológico potencial en la ansiedad y la depresión, y la exposición a la contaminación del aire interior ha mostrado una asociación con niveles elevados de cortisol. Se sugiere que una combinación de mecanismos biológicos podría estar involucrada en la relación entre la PM y los resultados de la salud mental, pero se necesita más investigación para establecer las vías exactas y su importancia relativa en diferentes condiciones psiquiátricas y a lo largo del tiempo.⁴⁶⁻⁴⁸

El impacto de cualquier contaminante está influenciado por varias variables, como la concentración del contaminante, la duración de la exposición, la edad, género, sensibilidad y la salud general de la población expuesta. Las enfermedades respiratorias agudas, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), los resultados prenatales deficientes como bajo peso al nacer y la mortinatalidad, los problemas neurológicos y los cánceres de la nasofaringe, laringe, pulmón y leucemia están entre las morbilidades asociadas a la contaminación del aire interior (IAP). El uso de kerosene y carbón en el hogar son una fuente principal de envenenamientos por ingestión o exposición al CO, y su uso también es una causa principal de quemaduras y quemaduras en países en desarrollo y desarrollados. La combustión incompleta de combustibles sólidos y kerosene utilizados para cocinar resulta en la contaminación del aire en el hogar, causando 3.2 millones de muertes tempranas al año por enfermedades.^{35,36,49}

La PM y otros contaminantes en la contaminación del aire en el hogar irritan los pulmones y las vías respiratorias, debilitan el sistema inmunológico y disminuyen la capacidad de la sangre para transportar oxígeno. El asma, las infecciones respiratorias, el cáncer de pulmón, la EPOC, los cánceres de laringe y nasofaringe, la otitis media, la tuberculosis, las tasas bajas de nacimiento, las condiciones perinatales y las enfermedades oculares severas pueden ser causadas por la exposición a la IAP.^{7,27}

Además de la neumonitis por hipersensibilidad, el asma, la rinitis alérgica y otras enfermedades respiratorias, los contaminantes biológicos pueden causar fiebre, mareos, ojos llorosos, problemas digestivos, letargo y problemas de tos, muerte prematura entre personas con enfermedades del corazón y del pulmón, irritación de la nariz, garganta y ojos, daño pulmonar, daño al ADN y problemas respiratorios. En edificios escolares con mala calidad del aire, los estudiantes y profesores pueden sufrir problemas de salud y experimentar incomodidad. Estos contaminantes incluyen ácidos acético y fórmico, aldehído acético, formaldehído, compuestos de azufre y ozono. Los fuegos abiertos y los hornos de cocina de baja calidad son utilizados por aproximadamente el 90% de los hogares rurales en países en desarrollo, y el 50% de la población mundial que utiliza biomasa no procesada.^{17,35}

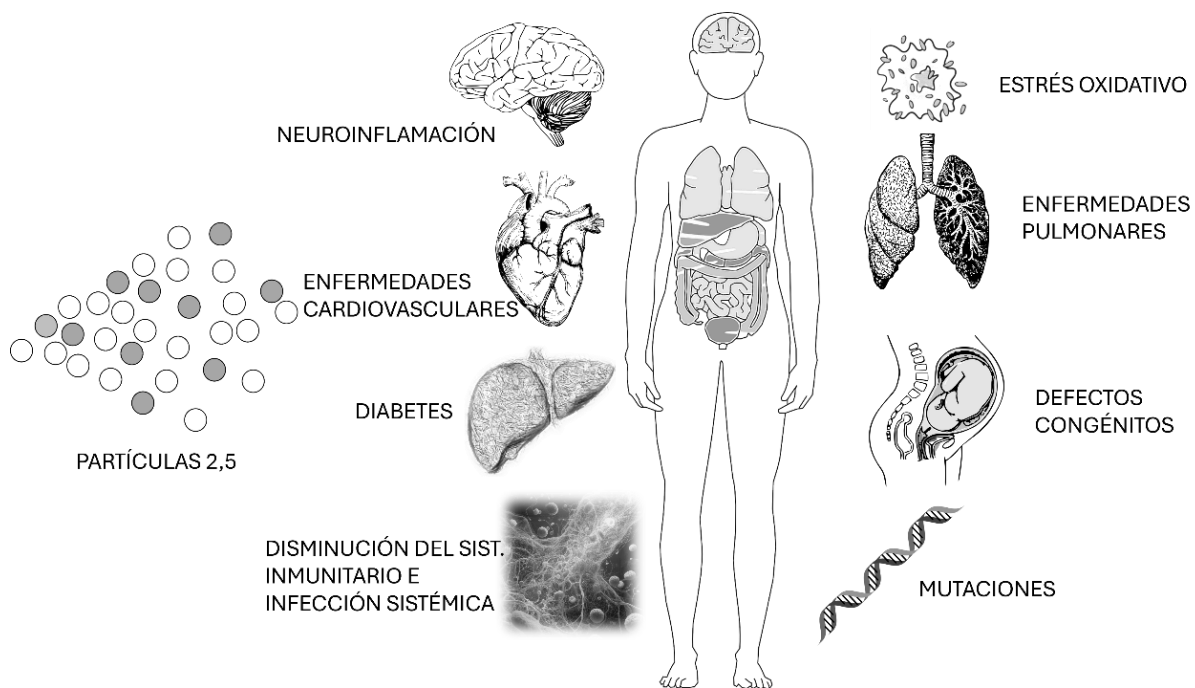


Figura 4. Efectos de la exposición de partículas suspendidas en el aire. Elaboración propia.³⁵

Aproximadamente el 80% de las poblaciones urbanas europeas están expuestas a niveles de contaminantes del aire superiores a los establecidos por la Organización Mundial de la Salud. La contaminación del aire aumenta la mortalidad por todas las causas. Los estudios epidemiológicos han confirmado que la contaminación del aire no solo aumenta el riesgo de enfermedades respiratorias, como el cáncer de pulmón e influenza, sino también aumenta el riesgo de cáncer de mama, enfermedades cognitivas como la enfermedad de Alzheimer, enfermedades cerebrovasculares como el accidente cerebrovascular, y enfermedades metabólicas como la diabetes. Por lo tanto, se ha señalado la necesidad de estudiar los datos ambientales y fortalecer la cooperación con las agencias ambientales para contribuir conjuntamente a reducir el impacto adverso de la contaminación del aire en la salud humana.^{36,49}

1.8 BIOAEROSOL Y COVID

La enfermedad del coronavirus (COVID-19), causada por el virus SARS-CoV-2, ha infectado a más de 262 millones de personas y ha resultado en más de 5.2 millones de muertes en todo el mundo. La pandemia ha causado daños económicos, de salud pública y social significativos. Aunque los factores de riesgo de COVID-19 aún están siendo investigados, se ha demostrado que los factores ambientales como la contaminación del aire urbana y rural y la calidad del aire juegan un papel crucial en aumentar la sensibilidad de la población a la patogénesis de COVID-19.^{14,49-52}

Hay miles de nuevos casos y muertes diarias en todo el mundo, con pocas regiones exentas. La patogenicidad, letalidad, rápida propagación, secuelas inesperadas (como la disminución de la función olfativa y el daño neuronal) de COVID-19, así como la continua aparición de variantes más letales y altamente infecciosas, representan una amenaza y desafío serios para la salud pública. Es notable que las vacunas no pueden proteger al 100% a las personas de la infección por SARS-CoV-2.^{37,43,49,53}

Por lo tanto, explorar los factores que influyen en la transmisión y mortalidad de COVID-19 tiene implicaciones significativas para las estrategias de prevención e intervención en esta pandemia. En general, tanto la susceptibilidad individual como las condiciones ambientales contribuyen a la transmisión y mortalidad de COVID-19.^{14,38,49,53}

Los estudios han demostrado que la exposición a las partículas de poco tamaño PM2.5 puede causar efectos perjudiciales para la salud, incluyendo enfermedades cardiovasculares, respiratorias, diabetes y renales. Además, las áreas con altos niveles de contaminación del aire PM2.5 aumentan el riesgo de resultados adversos de COVID-19. Las restricciones de COVID-19 han reducido las emisiones de los principales contaminantes del aire en todo el mundo, especialmente en los Estados Unidos, debido a la disminución de las actividades industriales y de transporte.⁵⁰⁻⁵²

La calidad del aire en áreas urbanas y rurales ha sido afectada por las restricciones de COVID-19, y se ha observado una mejora general en la calidad del aire durante el bloqueo. Además, se ha estimado la asociación entre la tasa de mortalidad de COVID-

19 y la calidad del aire, destacando la importancia de la relación directa entre la calidad del aire y la mortalidad por COVID-19 a nivel mundial.⁵⁰⁻⁵⁴

El estudio de revisión sistemática de Dahu BM et al. (2022) destaca que el bloqueo y las órdenes de quedarse en casa durante la pandemia de COVID-19 mejoraron la calidad del aire, reduciendo la exposición y las emisiones de materia particulada PM2.5.⁵⁵ Esto ayuda a disminuir el riesgo de hospitalización entre los individuos infectados con COVID-19. El estudio también subraya la necesidad de esfuerzos de salud pública durante la pandemia y mejora el beneficio del bloqueo en la reducción de la contaminación del aire y la calidad del aire. Se necesita más investigación para validar que los contaminantes del aire (NO₂, CO, O₃, PM2.5 y PM10) tengan un impacto significativo en las tasas de mortalidad y fatalidad por COVID-19.^{50,51}

La contaminación del aire se estimó que causó 4.2 millones de muertes prematuras en todo el mundo en 2016, según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), alcanzando casi 5 millones en 2017 según el Instituto de Efectos de la Salud. Esto debería ser suficiente para motivar políticas más agresivas para reducir la contaminación del aire. El 11 de marzo de 2020, la OMS declaró la pandemia global del coronavirus (COVID-19). Debido a su transmisibilidad y rápida propagación mundial, varios gobiernos impusieron severas restricciones en la vida social y económica, incluyendo órdenes de quedarse en casa, distanciamiento social, cuarentenas obligatorias y trabajo y escuela remotos. Estas restricciones pusieron a la mayoría de la población global en un bloqueo general a finales de marzo de 2020 (alrededor de 157 países), lo que redujo temporalmente algunas de las principales fuentes de emisiones antropogénicas de contaminación del aire y, consecuentemente, resultó en mejoras significativas en la calidad del aire en todo el mundo. Aunque estas medidas fueron temporales y tuvieron un alto impacto socioeconómico, fueron una oportunidad única tanto a nivel global como local para evaluar la efectividad de algunas medidas a corto plazo para reducir la contaminación del aire en el mundo real. Por lo tanto, entender los efectos de la pandemia de COVID-19 en la calidad del aire es una oportunidad única para definir políticas a corto y largo plazo mejor dirigidas para mejorar la calidad del aire, derivadas de las restricciones impuestas por los gobiernos.⁵⁰⁻⁵⁶

Se ha determinado que tanto la exposición a largo como a corto plazo a NO₂, PM2.5 y SO₂ está asociada con una mayor incidencia de COVID-19. La exposición a largo

plazo a PM2.5 aumentó la mortalidad por COVID-19. La incidencia de COVID-19 se asoció positivamente con un aumento en el AQI. La exposición a corto plazo a O3 y PM10 se asoció con una mayor incidencia de COVID-19. La carga de la pandemia en la mayoría de las regiones del mundo está aumentando, subrayando la importancia y la urgencia de atenuar la AP para abordar la situación.^{49,51,54,55}

El estudio de la propagación del SARS-CoV-2 ha revelado que las condiciones climáticas, como la temperatura y la humedad, pueden influir significativamente en la transmisión del virus. Los brotes de enfermedades respiratorias suelen tener una naturaleza estacional, con picos en bajas temperaturas durante los meses de invierno. El coronavirus puede mantener su infectividad durante hasta 2 semanas en un ambiente de baja temperatura y humedad, lo que podría facilitar su transmisión en comunidades subtropicales.^{38,43}

Se sugiere que las altas temperaturas y la alta humedad pueden inactivar los coronavirus, mientras que las bajas temperaturas y la baja humedad pueden prolongar la supervivencia del virus en superficies y facilitar su transmisión. Esta combinación puede debilitar los mecanismos de defensa antiviral del huésped, aumentando la susceptibilidad a las enfermedades respiratorias durante el invierno.^{38,57}

A pesar de estas observaciones, existe cierta divergencia en la literatura sobre los efectos de la temperatura y la humedad en la viabilidad y transmisibilidad del COVID-19.^{14,38,57}

1.9 BIOAEROSOL Y LA ODONTOLOGÍA

La pandemia de COVID-19 ha aumentado la conciencia sobre el alto riesgo que representan los patógenos respiratorios transmitidos por aerosoles, especialmente en espacios cerrados con mala ventilación. Aunque la preocupación por la contaminación por aerosoles no es nueva en las instalaciones de salud, la pandemia ha demostrado la necesidad de evolución e innovación para mitigar el impacto de los aerosoles.^{13,58-61}

Los aerosoles son partículas líquidas o sólidas suspendidas en el aire por fuentes naturales o artificiales. Dependiendo de su peso, estas partículas pueden permanecer suspendidas en el aire durante horas y viajar largas distancias a través de la ruta aérea. Cuando los aerosoles transportan microorganismos, como bacterias, hongos, esporas y virus, también se conocen como bioaerosoles. En casos en que no es posible reducir las fuentes de aerosoles o la ventilación diluida es insuficiente, se ha propuesto la implementación de purificadores de aire portátiles como una medida coadyuvante en entornos residenciales, comerciales y de atención médica.^{53,56,59}

Los primeros investigadores clasificaron las partículas menores a 100 µm como aerosoles y las mayores como gotas o 'esparcimiento'. Los aerosoles pueden ser transportados por el aire durante periodos considerables dependiendo de la humedad, flujo de aire y temperatura del entorno. Los humanos producen bioaerosoles al hablar, respirar, toser o estornudar, y estos pueden contener hongos, bacterias o virus. Los dispositivos mecánicos, como los sistemas de ventilación de clínicas/hospitales, pueden propagar bioaerosoles de manera eficiente, requiriendo estrategias de ingeniería para minimizar o eliminar su propagación.⁵⁹⁻⁶¹

Los factores como la virulencia, el número de partículas infecciosas y la patogenicidad de los microbios, así como la respuesta inmunológica del huésped, determinan la susceptibilidad a adquirir un agente infeccioso a través de un bioaerosol. Los trabajadores de la salud corren un mayor riesgo de adquirir patógenos respiratorios debido a su profesión, como se mostró en la epidemia de SARS y en la actual pandemia de COVID-19, donde los sanitarios han sucumbido desproporcionadamente a la enfermedad. Aunque no se ha reportado mortalidad entre los profesionales de la odontología debido a COVID-19, se considera que tienen la mayor probabilidad de

adquirir la enfermedad debido a los procedimientos dentales que generan bioaerosoles.^{13,14,53,60,62}

La odontología se practica en un campo contaminado y ha confiado en precauciones universales para la entrega de atención rutinaria. Las precauciones universales han demostrado ser suficientes para prevenir la transmisión de enfermedades infecciosas a través de gotas (partículas $>5\ \mu\text{m}$ de diámetro), como demuestra la evidencia circunstancial y la experiencia de la vida real. Sin embargo, en la pandemia actual, se ha reconocido la importancia de comprender el riesgo de exposición a través de gotas y aerosoles (partículas $\leq 5\ \mu\text{m}$) y se ha revisado el rico patrimonio histórico de evidencia para la odontología. Para la cirugía oral, los riesgos de transmisión a través de la sangre, tras las preocupaciones sobre virus transmitidos por la sangre como el VIH y la hepatitis B y C, han resultado en que los clínicos usen regularmente EPP quirúrgico estándar en las últimas décadas, en lugar de simplemente confiar en las precauciones universales.^{13,14,56,60,63-65}

Se reconoce cada vez más que el tamaño de las partículas es el determinante más importante del comportamiento de los aerosoles. Las pequeñas partículas pueden ser inhaladas inmediatamente, pero factores biológicos como el tamaño del inóculo, la supervivencia de la desecación y factores ambientales más amplios, incluyendo la humedad, la temperatura y el movimiento del aire, impactan la contaminación, junto con las defensas del huésped que influyen en su impacto.^{52,60,64,65}

Se han identificado patógenos en aerosoles, y esto tiene implicaciones para SARS-CoV-2. Además, los procedimientos dentales pueden producir aerosoles dentales, que llevan un virus infeccioso, y ahora hay evidencia de que los aerosoles pueden permanecer en el aire hasta 3 horas y probablemente más. Por lo tanto, un procedimiento de generación de aerosoles dentales (AGP) realizado en un individuo infectado podría producir un brote local.^{60,62,65,66}

Los aerosoles de menos de $15\ \mu\text{m}$ permanecen en el aire durante un promedio de 7.13 minutos y pueden viajar hasta 25.45 m en promedio desde su fuente, potencialmente contaminando clínicas enteras.⁶⁷

En la odontología, los procedimientos intervencionistas aerosolizan secreciones respiratorias, y los procedimientos específicos de odontología, como la profilaxis con ultrasonidos pueden generar bioaerosoles. A menos que se controle cuidadosamente, estos procedimientos representan uno de los muchos riesgos inherentes a la profesión, resaltados por la pandemia de COVID-19. Se han sugerido medidas adicionales para reducir la generación de bioaerosoles, como el escalonamiento manual, la eliminación quimio-química de las caries, técnicas restauradoras atraumáticas, aislamiento de la vela de goma, uso de enjuagues bucales preoperatorios, ventilación general y filtración de aire. Aunque la literatura post-SARS proporciona orientación útil sobre procedimientos de reducción de aerosoles en odontología, no se ha realizado recientemente una revisión sistemática sobre la reducción de la generación de bioaerosoles durante los procedimientos dentales, especialmente durante la pandemia de COVID-19.^{59,60,68,69}

Los purificadores de aire portátiles utilizan diferentes tecnologías, como filtros de aire de medios fibrosos, generalmente clasificados como filtros de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA) o filtros de aire de partículas ultrabajas (ULPA), filtración de aire ultravioleta y limpiadores de aire electrónicos, incluyendo precipitadores electrostáticos e ionizadores, solos o en combinación. Los filtros de medios fibrosos eliminan partículas capturándolas en materiales de filtro fibroso. Los precipitadores electrostáticos e ionizadores eliminan partículas mediante un proceso de carga electrostática activa. La filtración de aire ultravioleta reduce los microorganismos aéreos viables matándolos o desactivándolos. Las tecnologías de limpieza de aire en fase de gas incluyen filtros de aire adsorbentes como el carbón activado, filtros de medios aire químicos adsorbidos, oxidación fotocatalítica, plasma e intencionalmente generadores de ozono, diseñados para eliminar contaminantes del aire gaseoso o convertirlos en inofensivos.^{58,62,65,66,68,70}

La eficacia de diferentes limpiadores de aire portátiles se informó que varía del 12 al 99% dependiendo de la tecnología utilizada, el entorno y las evaluaciones de resultados a través de los estudios. En teoría, se puede asumir que reducir las concentraciones de partículas aéreas y los recuentos microbianos aéreos en el aire interior resultaría en tasas de infección más bajas. Este resumen de revisión buscaba mapear y resumir la investigación general que evalúa la implementación de tecnologías de limpieza de aire portátiles en entornos de atención médica; además, informar los resultados medidos a

través de los estudios, las características y el rango de las metodologías utilizadas, los desafíos y limitaciones, y proponer recomendaciones para futuras investigaciones.^{58,66,68,70}

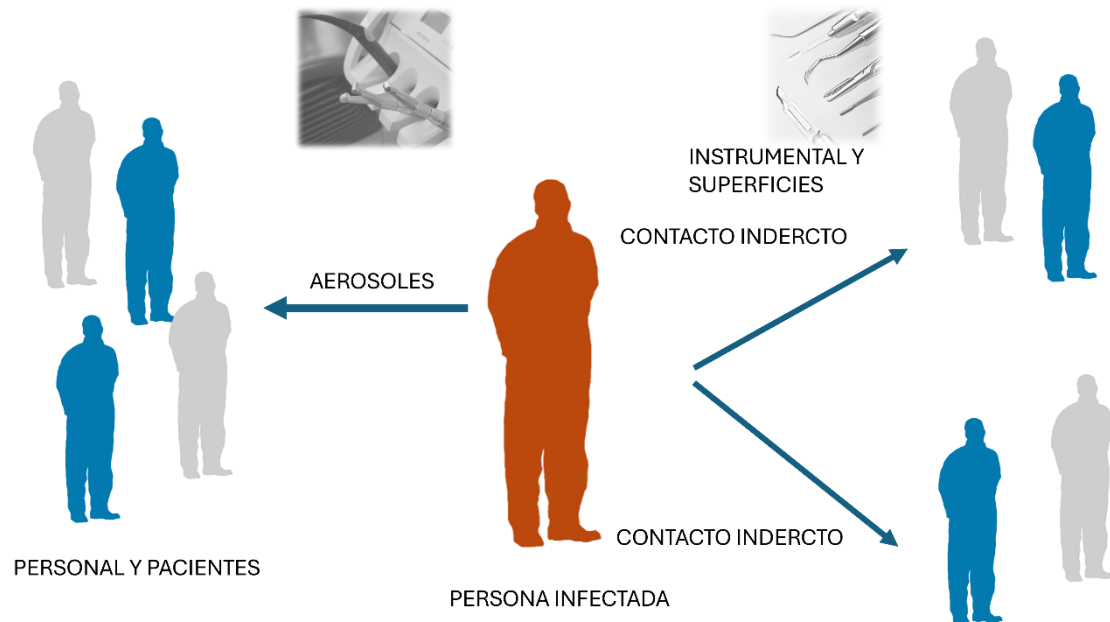


Figura 5. La transmisión del SRAS-CoV-2 puede producirse por contacto directo, contacto indirecto y a través del aire (gotitas/aerosoles). Puede producirse de los pacientes a las profesionales y viceversa. Esto se aplica a personas sintomáticas, presintomáticas y asintomáticos.⁷¹

1.10 MEDIDAS PREVENTIVAS

Como hemos visto a lo largo de este trabajo el cuerpo humano interactúa de diferentes maneras. En el caso de los pulmones, interactúan con el ambiente a través de la respiración. Su gran superficie es una barrera fina entre aire-sangre, expuesta a las partículas suspendidas en el aire.^{15,17}

Está más que demostrado que cierto virus son de transmisión aérea. En el caso del SARS-CoV-2 causante de la enfermedad del COVID-19 también se propaga por esta vía. Especialmente en interiores, particularmente en espacios con poca ventilación.^{72,73}

Por esta razón, un protocolo o estrategia de mitigación de la propagación de enfermedades en interiores es vital. Se basa en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). El uso de estos sistemas y sus características pueden modificar potencialmente la transmisión del virus.⁷²

El cambio en el funcionamiento de los edificios, incluida la calefacción, ventilación y aire acondicionados debe producirse. Se ha demostrado que de esta forma se puede reducir la exposición de patógenos en el aire. Por ello, es esencial investigar de forma interdisciplinar las medidas a tomar para proteger a los ocupantes de estos espacios interiores con el fin de disminuir el riesgo de exposición a contaminantes y/o patógenos.
^{72,73}

Las características de diseño de los sistemas HVAC, como la filtración, la ventilación, la radiación ultravioleta y la humedad, pueden influir en la transmisión de los virus.^{17,72}

La primera regulación oficial de pruebas de filtros de aire en la industria HVAC fue publicada por ASHRAE en 1968 (ASHRAE 52-68 [10]) con una actualización en 1976 (ASHRAE 52-68). en el sector de la climatización fue publicada por ASHRAE en 1968 (ASHRAE 52-68 y actualizada en 1976 (ASHRAE 52-76). En Europa, ASHRAE 52-76 se adaptó como Eurovent 4/5, que clasificaba los filtros de EU1 a EU9]. En 1999, ASHRAE 52.2 introdujo la clasificación Minimum Efficiency Reporting Value (MERV). ASHRAE 52.2 se modificó en 2007, 2012 y 2017.^{72,74}

En 2016, en Europa, la norma ISO 16890 sustituyó a la norma EN779, que clasificaba los filtros como G1-G4;M5-M6; F7-F9. EN779 había sustituido a Eurovent 4/9 que reemplazó a Eurovent 4/5. En ASHRAE 52.2-2017, la eficiencia del filtro se basa en la eficiencia de eliminación del tamaño de las partículas (PSE). En resumen, la eficiencia del filtro es la fracción de partículas eliminadas del aire que pasa a través del filtro. Las partículas se clasifican en tres rangos de tamaño E1 0,30-1,0 μm ; E2 1,0-3,0 μm ; y E3 3,0-10,0 μm . Los PSE de estos rangos de tamaño se utilizan para determinar la clasificación MERV, que va de MERV 1 a MERV 16.^{72,74}

Otro filtro común es un filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA); la eficiencia de filtrado de un filtro HEPA es mejor que MERV 16. Sobre todo a partir de 2021 distintas organizaciones realizar recomendaciones para reducir la exposición al aire infeccioso, incluyendo el uso de filtros MERV 13 o superiores para el aire recirculado por sistemas HVAC.^{36,72}

En marzo de 2021, la OMS publicó una serie de recomendaciones relativa a la ventilación interior durante COVID-19. Basándose en una revisión de seis estudios específicos sobre el SARS-CoV-2 y en las orientaciones técnicas de las principales organizaciones internacionales de HVAC, la hoja de ruta presenta normas para entornos sanitarios, no residenciales y residenciales basadas en el tipo de ventilación (natural frente a mecánica). En situaciones específicas (por ejemplo, dependiendo de la tasa de ventilación y los patrones de flujo de aire, diseños de sistemas con modos de recirculación de aire o recuperación de calor), se recomiendan filtros HEPA o MERV 14.^{8,72}

La instalación o actualización de un sistema de filtración de aire puede ser a veces una intervención costosa. Sin embargo, las enfermedades también cuestan dinero y existen numerosas investigaciones que demuestran simplemente cómo la inversión en infraestructuras para mejorar la calidad del aire interior (IAQ) es rentable cuando los intereses de los propietarios y los usuarios de los edificios están alineados.^{17,72}

El personal que trabaja en las clínicas dentales está potencialmente expuestos a un gran número de patógenos, ya que se realizan tratamientos que generan aerosoles mediante el uso de diferentes dispositivos. Es muy importante recordar que las vías respiratorias (cavidad oral, fosas nasales) y conjuntiva ocular son las vías de acceso de muchos microorganismos.^{75,76}

Además, el epitelio del conducto de la glándula salival, así como las células de las vías respiratorias, representan en gran medida células receptoras de ACE2. Por lo tanto, al trabajar en estrecha proximidad con la cavidad bucal del paciente, el profesional es el más propenso a contraer el virus. Para evitarlo, se deben extremar las precauciones.^{15,75}

Todos los profesionales tienen que tomar medidas de protección para no infectarse a sí mismos y también a sus pacientes. Para ello, el equipo sugerido debe cubrir todo el cuerpo y también la nariz, los ojos y la boca. Se considera que la protección para la boca es la mascarilla.^{43,75}

El equipo de protección recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), incluye lo siguiente:⁷⁵

- Protección respiratoria: N95 es altamente eficaz, mientras que las mascarillas filtrantes con FFP2 (pieza facial filtrante 2) o FFP3 (pieza facial filtrante 3) son estándar. Las mascarillas de protección varían según la región de producción; para la evaluación de la mascarilla debe utilizarse la especificación de marcado adecuada.⁷⁵
 - FFP1 y P1: al menos un 80% de filtración de todas las partículas de 0,3 µm de diámetro o más
 - FFP2 y P2: al menos un 94% de filtración de todas las partículas de 0,3 µm de diámetro o más. La mascarilla FFP2 es cien veces más eficaz como escudo protector que la mascarilla quirúrgica.
 - N95: al menos un 95% de filtración de todas las partículas de 0,3 µm de diámetro o más
 - N99 y FFP3: al menos un 99% de filtración de todas las partículas de 0,023 µm de diámetro o más.
 - P3: filtración de al menos el 99,95% de todas las partículas de 0,3 µm de diámetro o mayores
 - N100: filtración de al menos el 99,97% de todas las partículas de 0,02 µm de diámetro o mayores.
- Protección ocular, por ejemplo gafas y pantalla facial⁷⁵
- Protección corporal, como batas médicas impermeables de manga larga y gorros desechables para la cabeza.⁷⁵

- Protección de las manos, como guantes quirúrgicos estériles que deben cubrir los puños de la bata.⁷⁵

Es una necesidad higienizar el entorno entre un paciente y otro. Por ello, es necesario disponer de dispositivos de higienización rápidos y eficaces contra bacterias y virus. Existe un gran número de dispositivos de desinfección, pero muchos de ellos tienen limitaciones causadas por las sustancias que se utilizan para la desinfección de las habitaciones. De hecho, las máquinas que utilizan ozono, productos químicos, rayos UV o peróxido de hidrógeno vaporizado implican algunas limitaciones, como la oxidación de las placas electrónicas y grandes tiempos de higienización. Estos higienizadores descritos implican necesariamente una pausa de trabajo entre un paciente y otro de aproximadamente una hora. Por este motivo, la actividad odontológica se vería seriamente ralentizada debido a esas largas pausas, causando también perjuicios económicos.⁷⁵

Los únicos dispositivos que higienizan en presencia de operadores y pacientes, durante el trabajo con un estándar HEPA insertado en los dispositivos de higienización, permiten operar con extrema seguridad sin pausas entre un paciente y el siguiente. Tales sistemas de higienización del aire incluyen los utilizados con la tecnología espacial de la NASA y certificados con el nombre ActivePure®. Este dispositivo fue creado por la NASA para naves espaciales, transferido para uso terrestre por Aerus, probado en laboratorios universitarios y está validado por todos los organismos de certificación de EE. UU. y por el Ministerio de Sanidad de Italia como dispositivo médico.⁷⁵

Un filtro HEPA está compuesto por una estera de fibras dispuestas aleatoriamente y puede eliminar el 99,95% (norma europea) de las partículas de 0,3 µm de diámetro, del aire que lo atraviesa (Norma Europea 2009 - EN 1822-1:2009). En EE. UU., el Instituto de Ciencias y Tecnología Medioambientales (IEST) exige que un filtro HEPA certificado capture un mínimo del 99,97% de los contaminantes de 0,3 µm de tamaño o más, lo que significa que por cada 10.000 partículas que pasan a través del filtro, solo tres pueden escapar. La filtración implica la eliminación física de partículas del aire y es un aspecto vital para conseguir una calidad aceptable del aire interior. Los purificadores de aire utilizan diferentes tipos de filtración, como carbón, HEPA o una mezcla como una unidad de filtración de

carbón/HEPA. Mientras que un filtro de carbón es ideal para productos químicos y olores en el aire, el HEPA es ideal para partículas de aire.^{36,76}

La acumulación de aerosoles puede ocurrir en salas de tratamiento dentarias con mala ventilación. La adición de un purificador de aire portátil con un filtro HEPA reduce significativamente la acumulación de aerosoles y aceleró su eliminación.^{36,77}

Los ionizadores o purificadores de aire iónicos son aparatos que pueden ser portátiles o fijos. Utilizan electrodos cargados para proyectar iones negativos en el aire. Estos dispositivos imparten cargas eléctricas de la misma polaridad en las partículas de aerosol. Estas partículas cargadas unipolarmente se repelen entre sí y se alejan de la zona de respiración para depositarse en superficies cercanas. Otro posible mecanismo de funcionamiento es que los microorganismos que flotan en el aire atraen estos iones cargados negativamente y se hacen más pesados y se precipitan sobre las superficies. Sin embargo, este proceso no destruye los microorganismos, permanecen viables y, por tanto, requieren un tratamiento más convencional de desinfección.⁷³

Para reducir la presencia de aerosoles, los odontólogos pueden utilizar la doble aspiración quirúrgica para eliminar toda el agua de la cavidad bucal. En el mercado también existen aspiradores externos al sillón dental, se trata de un tercer aspirador potente transportable de un sillón dental a otro y adicional a los dos aspiradores quirúrgicos ya existentes.⁷⁵

Hay que entender también que la ventilación es la introducción intencionada de aire limpio en un espacio mientras se elimina el aire del interior, es decir, la ventilación introduce el aire del exterior y lo distribuye por el interior de un espacio interior. La ventilación introduce aire exterior en un edificio o una habitación y lo distribuye dentro del edificio o habitación. Si las condiciones exteriores locales lo requieren, por ejemplo, una alta concentración de partículas (PM), puede ser necesario un tratamiento del exterior antes de introducirlo en el edificio. El objetivo general de la ventilación en los edificios es garantizar que el aire del edificio sea saludable para respirar.⁸

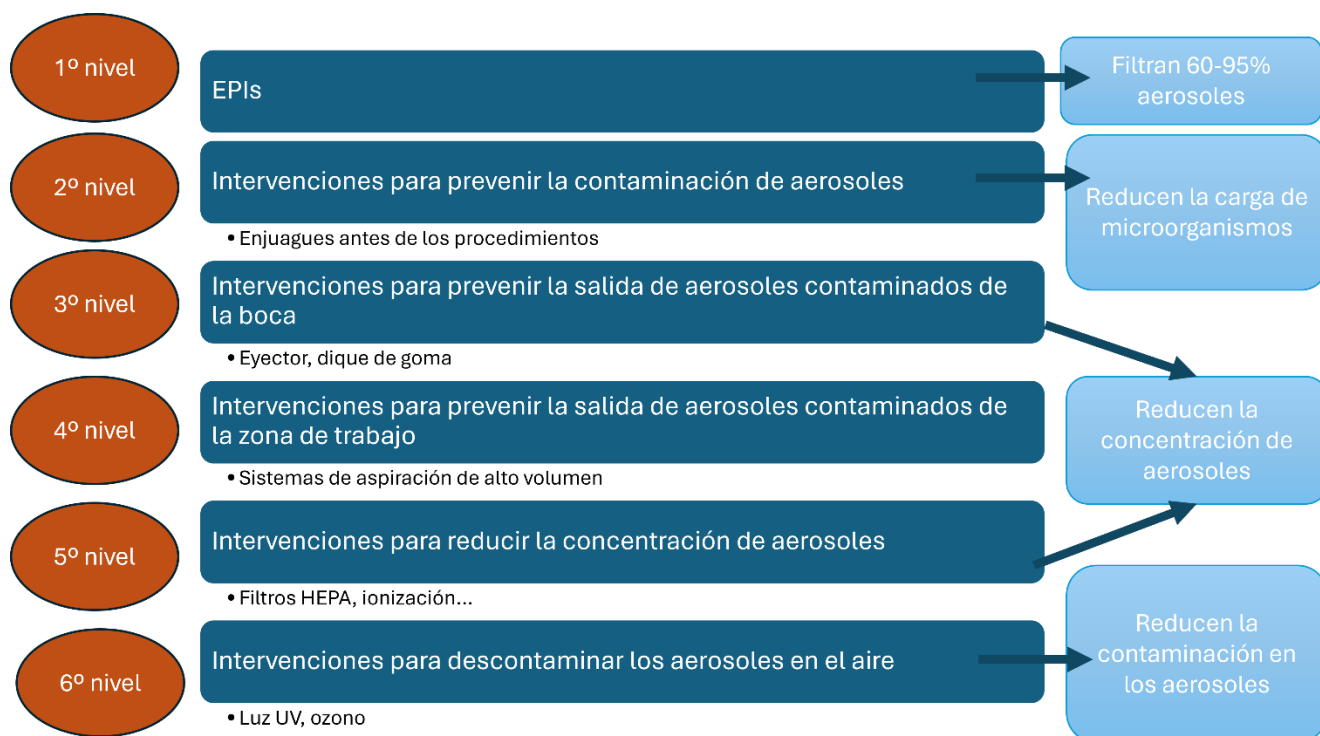


Figura 6. Resumen de las medidas preventivas en la clínica dental. Elaboración propia.⁷³

Un eyector de saliva es un dispositivo tubular estrecho que proporciona succión para eliminar saliva, sangre, material dental y residuos de la boca durante los procedimientos dentales para proporcionar un campo despejado. El uso de eyectores de saliva de bajo o alto volumen reduce la producción de gotitas y aerosoles. Sin embargo, ni los eyectores de saliva ni los dispositivos HVE redujeron eficazmente los aerosoles y las salpicaduras. Los eyectores de saliva junto con dispositivos HVE son más eficaces que los eyectores de saliva utilizados solos. Los eyectores de saliva se prefieren en las consultas dentales por su utilidad para proporcionar un campo quirúrgico despejado diferencia de los dispositivos HVE.⁷³

Los dispositivos HVE son dispositivos de aspiración instalados en un sistema de evacuación que pueden aspirar un gran volumen de aire en un corto periodo de tiempo. El dispositivo HVE habitual utilizado en odontología tiene una abertura grande (normalmente de 8 mm o más) y está acoplado a un sistema de evacuación que eliminará hasta 2,8 metros cúbicos de aire por minuto. Se han probado para controlar la producción de aerosoles en entornos dentales y los estudios han mostrado resultados variables, desde reducción del 90,8% de los aerosoles a no existir ninguna diferencia estadísticamente significativa con su uso. El dispositivo debe sujetarse

aproximadamente de 6 mm a 15 mm de distancia del instrumental generador de aerosoles.^{73,78}

La esterilización del aire se puede realizar mediante irradiación UV. El ADN de todas las bacterias y los virus, lo que los hace estériles e incapaces de reproducirse. Otro método es el método de la ozonización. El ozono ataca la membrana celular de las bacterias, posiblemente mediante ozonólisis de los dobles enlaces carbono-carbono de los lípidos de membrana provocando la lisis de la célula. Las moléculas de ozono son altamente reactivas y, cuando en contacto con microorganismos, reaccionan, haciéndolos inofensivos. Existe preocupación por la cantidad de ozono necesaria para destruir los patógenos en el aire y si ello supusiera un riesgo para la salud del personal odontológico y de los pacientes. Sin embargo, la vida media del ozono es de 20 minutos y se descompone en oxígeno, por lo que no supone un riesgo para la salud.⁷³

La fumigación con formaldehído es capaz de reducir *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus spp*, *Escherichia coli* y *Aspergillus spp* pero hoy en día, este método de fumigación se utiliza poco debido al efecto cancerígeno del formaldehído y, en su lugar, se prefiere la nebulización, utiliza una mezcla de peróxido de hidrógeno y solución de iones de plata para controlar el aire contaminado mediante su acción bactericida.⁷³

En resumen, los sistemas de evacuación intraorales son ventajosos porque se colocan directamente en la boca del paciente y no requieren la posición de un dispositivo externo ni alteraciones a instrumentos dentales que puedan impedir la capacidad del dentista para realizar el procedimiento. Una desventaja de HVE, ya sea utilizado únicamente o en conjunto con un sistema de evacuación adicional, es que HVE a menudo requiere el uso de una de las manos de personal adicional dedicado a mantener HVE en lugar durante procedimientos de cuatro manos. Además, cuando se utiliza en conjunto con un sistema de evacuación adicional, la línea de succión adicional puede causar que la tasa de succión varíe si se utiliza la misma bomba de vacío, como suele ser el caso en cabinas individuales o abiertas.⁷⁰

1.11 BIOAEROSOL Y ORTODONCIA

La preocupación entre los profesionales odontológicos acerca de que los procedimientos generadores de aerosoles (AGP) puedan poner en riesgo tanto a ellos mismos como a sus pacientes ha sido intensificada por la pandemia de COVID-19. La Organización Mundial de la Salud (OMS) define los AGP como cualquier procedimiento médico, dental y de atención al paciente que resulte en la producción de partículas suspendidas en el aire que representan un mayor riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas.^{76,78}

En la práctica de la ortodoncia, el impacto de los bioaerosoles es un tema de creciente preocupación debido al riesgo potencial para la salud de pacientes y profesionales. Por ello, es fundamental entender la naturaleza de estos agentes y las medidas necesarias para su control en el entorno clínico.^{73,79,80}

El estudio sobre los bioaerosoles en ortodoncia se enmarca en la necesidad de proteger la salud de quienes están expuestos a éstos en la clínica dental. La investigación busca identificar los riesgos asociados a los bioaerosoles y proponer estrategias efectivas para su prevención, con el objetivo de garantizar un ambiente clínico seguro y saludable para todos los involucrados.^{79,80}

Los instrumentos dentales que se conocen que generan más aerosoles en odontología son la jeringa de agua, las puntas de ultrasonido y las piezas de mano de alta velocidad. Estos instrumentos generan una dispersión de partículas de diferentes tamaños, incluidas partículas de pequeño tamaño que se mantienen suspendidas en el aire durante largos periodos de tiempo y con un alto potencial para afectar al sistema respiratorio.^{76,79,80}

Las partículas de un tamaño de 10μ se pueden depositar en la laringe y las de un tamaño de 4μ pueden superar las vías aéreas no ciliadas. Las partículas de menos de $2,5\mu$ se pueden depositar en los alveolos del pulmón. En la bibliografía se indica que una gran parte de los efectos para la salud inducidos por las partículas se debe a aquellas con un tamaño entre 1μ y $0,1\mu$, que son capaces de alcanzar el torrente sanguíneo.⁷⁹

Se conoce gracias a la literatura dental que hay un aumento de la concentración de partículas entre la cabeza y 1,2 metros de separación. Sin embargo a la distancia de 1,2 metros y 2,4 metros la concentración es menor y las partículas de mayor tamaño se asientan. No hay que olvidar que esto también supone un riesgo ya que pueden contaminar superficies adyacentes.^{76,79}

En odontología y en particular en ortodoncia, se suelen emplear instituciones educativas grandes que normalmente proporcionan la atención al paciente en áreas abiertas. La ventilación y los dispositivos de protección tienen un papel vital para prevenir la contaminación. La pandemia COVID-19 ha planteado la posibilidad de que los procedimientos generadores de aerosoles (AGP) puedan transportar una carga de patógenos respiratorios y otros aerotransportados a largas distancias y, por lo tanto, contribuir a la transmisión generalizada de enfermedades.^{79,80}

La probabilidad de que una partícula contenga al menos un virión disminuye con la disminución del tamaño de la partícula. Por lo tanto, una partícula de 3 µm de saliva tiene una probabilidad asociada del 0.01%. Dado que estas probabilidades se basan en saliva sin dilución de agua refrigerante, la probabilidad se reduce aún más en escenarios clínicos dentales. Además, no todas las partículas emitidas entran en contacto con la microbiota del paciente, reduciendo aún más las posibilidades de transmisión.⁷⁹

Estimamos que la exposición biológica media es del 8.7%. Aunque este porcentaje parece preocupante, se debe tener en cuenta que la odontología tiene captura de aerosoles, dilución de la línea de suministro de agua del equipo dental y capacidades de intercambio de aire elevadas y luego ponderar esto frente a las interacciones en el mundo real a la misma distancia, que indudablemente tienen un porcentaje más alto.⁷⁹

Se han observado bajas tasas de infección por COVID-19 observadas en la odontología. La instrumentación ultrasónica ha sido objeto de mucho debate como una fuente importante de aerosoles dentales y, por lo tanto, una fuente potencial de transmisión de infecciones. Se ha encontrado que la succión dual resultó en una reducción aproximadamente de 4.8 veces en la concentración de partículas. Del mismo modo, el seguimiento microbiano demostró una reducción aproximadamente de 10 veces.^{70,73,79}

En ortodoncia, durante la práctica diaria no se suele utilizar aspiración excepto para la colocación de aparatología o su retirada pero si se utiliza en momentos esporádicos la jeringa de aire-agua. En el descementado de aparatología se registran las tasas de mayor emisión de partículas. Esto se puede deber a que durante el procedimiento no se utiliza refrigeración continua. En la bibliografía se habla del agua como un “recolector de polvo”.^{73,79}

Ante la difícil situación que se vivió durante la pandemia de COVID debido a sus altas tasas de contagio. Se establecieron ordenanzas de solo tratar pacientes en clínicas dentales por urgencia y aplicar la mínima intervención necesaria. La ortodoncia requirió manejos distintos a los convencionales. Se comenzó con la telemedicina, guiándolos y ayudando a la distancia. Por otro lado, acondicionar la clínica dental siguiendo los protocolos.^{73,81}

La atención telemática de los pacientes de ortodoncia requiere paciencia y comprensión por parte del ortodoncista, adaptando la comunicación a términos coloquiales para evitar confusiones con el lenguaje técnico dental.⁸¹

En casos de tubos molares o brackets adheridos, se puede instruir al paciente a usar un palillo para extraer los aparatos sueltos mediante una videollamada. La enseñanza del uso de elastómeras puede realizarse enviando un enlace de video en línea o explicándolo con ayuda de un modelo a través de una videollamada.⁸¹

Ciertas urgencias de fácil solución en casa como alambre suelto o punzante, se sugiere cortar un alambre incrustante con unas tijeras de uñas, siempre y cuando el alambre sea de menor calibre. Para alambres rectangulares rígidos, se necesitará un corte más potente.⁸¹

En cuanto a los tornillos de expansión, se pueden recordar e instruir a los pacientes mediante una llamada telefónica, monitoreando la expansión a través de videollamadas o evaluando fotos de los dientes enviadas por el paciente.⁸¹

Los pacientes que usan aparatos funcionales removibles deben ser recordados para usarlos y también instruidos sobre su limpieza. En caso de úlceras aftosas o traumáticas, se deben sugerir pomadas anestésicas tópicas de venta libre disponibles en la farmacia.⁸¹

Las placas de retención pueden entregarse fácilmente utilizando la técnica de entrega sin contacto, y esperando que se ajusten bien, se pueden dar nuevamente instrucciones remotas para su uso. Dado que el uso de escáneres ultrasónicos será mínimo, el uso de enjuague bucal y el protocolo de cepillado dos veces al día mínimo deben seguirse estrictamente por los pacientes, y el ortodoncista debe recordarles múltiples veces.⁸¹

Para pacientes que usan alineadores, su próximo alineador puede ser entregado sin contacto fácilmente, con el progreso del tratamiento de los pacientes sin obstáculos. Si sienten que su alineador actual no le queda bien o enfrentan cualquier otro problema, pueden ser instruidos para usar el alineador anterior. Nuevamente, el monitoreo a través de fotos tomadas por el paciente es útil, y se deben enviar enlaces de internet para orientación sobre cómo tomar fotos dentales justas con anticipación.⁸¹

2. JUSTIFICACIÓN

Con el inicio de la pandemia de COVID-19 y el brusco impacto que trajo consigo, surgieron nuevas necesidades. Entre ellas, la necesidad de comprender mejor nuestro entorno, especialmente en lo que respecta a la calidad del aire y el comportamiento de las partículas en él.

Este nuevo escenario ofrecía la oportunidad de generar más conocimiento científico a través de una nueva línea de investigación, respaldada por estudios piloto desarrollados y posteriormente publicados en la literatura científica.

Inicialmente, se llevó a cabo un primer estudio piloto para determinar cómo la actividad clínica diaria en el ámbito de la clínica dental, específicamente los tratamientos de ortodoncia, influía en la calidad del aire. Asimismo, se investigaron los posibles parámetros ambientales que podían afectar al número de partículas presentes en el gabinete dental. Este estudio se acompañó de una revisión de la literatura existente para orientar y desarrollar adecuadamente el diseño del estudio.

Los resultados y conclusiones obtenidos apoyaron la hipótesis inicial de que los tratamientos diarios en la consulta de ortodoncia aumentaban las concentraciones de partículas ambientales de distintos tamaños. Esto planteó la pregunta de ¿qué medidas se podían tomar para disminuir la concentración de partículas en el gabinete dental?

Para responder a esta pregunta, se llevó a cabo un segundo estudio piloto utilizando un filtro HEPA Biow, con el objetivo de comprobar si esta era una medida aplicable en la clínica dental que efectivamente disminuía la concentración de partículas en el aire.

Esta tesis doctoral se propone como una ampliación teórica a estos estudios piloto realizados, con el objetivo de descubrir nuevas líneas de investigación en campos aún poco explorados.

3. HIPÓTESIS

La **práctica clínica produce un aumento de la concentración de partículas** en el aire, lo cual puede suponer un **riesgo** tanto para los **pacientes** que acuden a consulta como para los **profesionales** que trabajan en la clínica dental.

4. OBJETIVOS

1. Objetivo principal:

Determinar si se produce un aumento de la concentración de partículas en el aire en la clínica de ortodoncia.

2. Objetivos secundarios:

2.1 En el caso de producirse un aumento de la concentración de partículas, establecer qué medidas se pueden aplicar para minimizar ese aumento y minimizar el riesgo para pacientes/profesionales.

2.2 Estudiar cómo influyen en la calidad del aire en el interior de la clínica dental, los factores ambientales de humedad y temperatura.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo de investigación se organiza en dos grandes secciones. La primera sección está dedicada a una exhaustiva búsqueda bibliográfica cuyo objetivo fue establecer un marco teórico que proporcionara un contexto científico sobre el estado actual del conocimiento en relación con los bioaerosoles en ortodoncia, así como su impacto en la salud y en el entorno clínico odontológico. Posteriormente, en función de las lagunas identificadas en la literatura, se desarrollaron dos estudios piloto con el propósito de generar nuevo conocimiento en este campo y aportar datos que contribuyeran al avance de la ciencia en esta área. Dichos estudios fueron sometidos a un riguroso proceso de revisión y publicados en revistas científicas de alto impacto.

5.1 BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

La revisión bibliográfica se realizó en la base de datos PubMed, utilizando estrategias de búsqueda avanzada y tesauros (MeSH terms) relacionados con bioaerosoles, calidad del aire interior y su impacto en la práctica odontológica, con especial énfasis en la ortodoncia. La búsqueda abarcó el periodo de junio de 2020 a junio de 2024. No se limitó la fecha de publicación para asegurar la inclusión de estudios históricos relevantes que pudieran aportar perspectiva, aunque se priorizaron los artículos más recientes. Se restringieron los idiomas a inglés, español y francés para asegurar la accesibilidad a las fuentes primarias más relevantes y rigurosas.

Se utilizaron diversos términos clave en combinaciones para optimizar la búsqueda de estudios relacionados con los bioaerosoles y la odontología, incluyendo: "bioaerosols", "particulate matter", "indoor air quality", "environment", "dentistry", "COVID-19", "health", "air pollution", entre otros. Se establecieron filtros que permitieron seleccionar exclusivamente aquellos artículos disponibles a texto completo, garantizando la revisión de literatura completa y evitando la fragmentación de la información.

Las búsquedas más relevantes se centraron en combinaciones específicas como:

"Particulate matter" + "orthodontics"

"Bioaerosols" + "orthodontics"

Este enfoque permitió reunir información científica de alta calidad y obtener una visión global sobre cómo los bioaerosoles afectan el ambiente odontológico, particularmente durante tratamientos ortodónticos. A continuación, se presenta el diagrama de flujo que describe el proceso de selección de los artículos revisados y las tablas con los datos relevantes extraídos de las búsquedas:

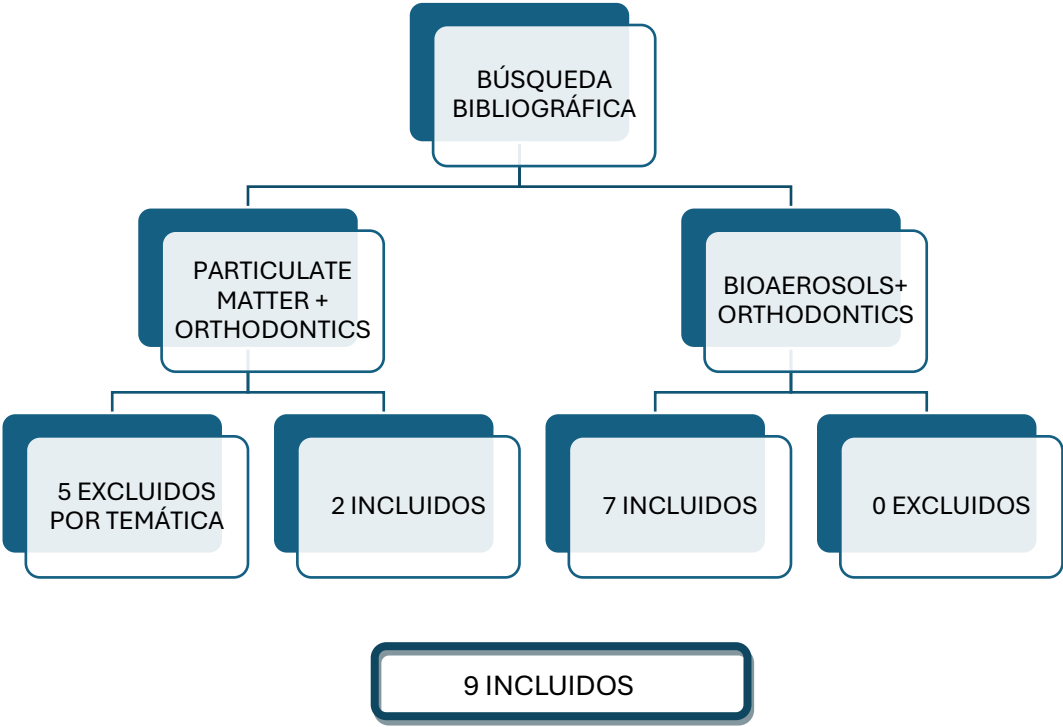


Figura 7: Estructura de la búsqueda bibliográfica con los artículos incluidos y excluidos.

A continuación se muestra la tabla 1 con la búsqueda “particulate matter and orthodontics” y la tabla 2 con la búsqueda “bioaerosols and orthodontics”.

AÑO	AUTORES	TÍTULO	OBJETIVOS	MATERIAL Y MÉTODOS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
2009	Johnston NJ et al	Quantitative and qualitative analysis of particulate production during simulated clinical orthodontic debonds ¹²	Determinar la producción de partículas durante los procedimientos de descementado y limpieza . En segundo lugar, examinar qué métodos pueden emplearse para minimizar la exposición del operario a dichas partículas de polvo .	Se determinó el tamaño y composición de las partículas producidas durante los procedimientos sobre dientes extraídos. En cada caso, el esmalte se limpió utilizando pieza de mano de alta o baja velocidad, con o sin pulverización de refrigerante de agua, con o sin evacuación de alto volumen (HVE) o mascarilla	El uso de alta velocidad y la irrigación con agua en la limpieza del esmalte produjeron la mayor concentración de partículas. Dentro de este polvo, el calcio, el fósforo, el aluminio y el silicio fueron los elementos más comúnmente encontrados. La mascarilla y el HVE fueron eficaces para reducir la exposición a las partículas respirables, pero la mascarilla fue más eficaz, ya que redujo la exposición hasta en un 96%.	La mascarilla es un medio eficaz para reducir la inhalación de polvo y se aconseja para todos los procedimientos clínicos.
2010	Baboni FB et al	Influence of cigarette smoke condensate on cariogenic and candidal biofilm formation on orthodontic materials ⁸²	Cuantificar las tasas de adherencia y la capacidad de formación de biopelículas de <i>S. mutans</i> y <i>C. albicans</i> en superficies de material de ortodoncia en presencia de humo de tabaco	DESCARTADO POR TEMÁTICA	DESCARTADO POR TEMÁTICA	DESCARTADO POR TEMÁTICA

2011	Ireland AJ et al	Particulate production during orthodontic production laboratory procedures ⁸³	Investigar la producción de partículas durante los procedimientos en el laboratorio dental al fabricar dispositivos de ortodoncia.	Se recogieron muestras del aire durante los procesos en el laboratorio dental. Se determinaron los volúmenes de polvo respirable en mg/m(3) mediante un muestreador de aire en tiempo real y se compararon con los límites de exposición en el lugar de trabajo aconsejados por la normativa de control de sustancias nocivas para la salud.	Se encontró diferencia estadísticamente significativa en el nivel de producción de partículas.	Se alcanzaron niveles de polvo muy altos durante la actividad. Se recomiendan medidas para mejorar la ventilación de los laboratorios dentales
2014	Nagaie M et al	A comprehensive mixture of tobacco smoke components retards orthodontic tooth movement via the inhibition of osteoclastogenesis in a rat model ⁸⁴	Demostrar que los componentes del humo del tabaco atenúan la reabsorción ósea, inhibiendo la osteoclastogénesis	DESCARTADO POR TEMÁTICA	DESCARTADO POR TEMÁTICA	DESCARTADO POR TEMÁTICA
2019	Vig P et al	Particulate production during debonding of fixed appliances: Laboratory investigation and randomized clinical trial to assess the effect of using flash-free ceramic brackets ⁸⁵	Investigar la producción de partículas durante el descementado y la posterior limpieza de Brackets metálicos y cerámicos	DESCARTADO POR TEMÁTICA	DESCARTADO POR TEMÁTICA	DESCARTADO POR TEMÁTICA
2020	Omar H et al	The effect of cigarette smoke on the shear bond strength of metallic and ceramic orthodontic brackets: An in vitro study ⁸⁶	Determinar el efecto del humo del tabaco en la fuerza de unión de Brackets metálicos y cerámicos	DESCARTADO POR TEMÁTICA	DESCARTADO POR TEMÁTICA	DESCARTADO POR TEMÁTICA

2021	Miranda AM et al	Does the exposure to cigarette smoke influence the colour stability and mechanical properties of different orthodontic elastic ligatures? - in vitro study ⁸⁷	Evaluar la estabilidad del color y la resistencia de la ligadura elástica de ortodoncia expuesta al humo del tabaco	DESCARTADO POR TEMÁTICA	DESCARTADO POR TEMÁTICA	DESCARTADO POR TEMÁTICA
------	------------------	--	---	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

Tabla 1. Búsqueda “particulate matter and orthodontics”

AÑO	AUTORES	TÍTULO	OBJETIVOS	MATERIAL Y MÉTODOS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
2017	Liu MH	High total volatile organic compounds pollution in a hospital dental department. ⁸⁸	Evaluar la calidad del aire y sus factores de influencia en el departamento dental del Hospital Chang Gung Memorial.	Se realizaron evaluaciones de la calidad del aire interior (IAQ) en seis lugares . Los parámetros de calidad del aire medidos fueron la temperatura, la humedad relativa y las concentraciones de CO2, compuestos orgánicos volátiles totales (COVT), partículas en suspensión (PM) y bacterias .	Las concentraciones de COVT en las seis estaciones de muestreo superaban las normas de calidad del aire interior. Las concentraciones más altas se encontraron en el departamento de odontología periodontal, mientras que las concentraciones más bajas se dieron en la zona de espera de los pacientes . La tasa de detección de bacterias Gram-positivas fue mayor en el departamento de pediatría (25%) y menor en la sala de lavado de instrumentos (9%). Micrococcus luteus y Bacillus cereus fueron los principales patógenos detectados	.Los departamentos dentales del hospital presentaban una grave contaminación por COVT . La calidad del aire de los departamentos dentales merece vigilancia y atención a largo plazo.
2021	Singh H	Aerosol generating procedural risks and concomitant mitigation strategies in orthodontics amid COVID-19 pandemic - An updated evidence-based review ⁸⁹	Proporcionar una visión de los riesgos potenciales relacionados con las salpicaduras y los AGP, así como de las estrategias de mitigación de riesgos empleadas para reducir el riesgo potencial de transmisión del SRAS-CoV-2 a través de los bioaerosoles dentales.	Se realizaron búsquedas en distintas bases con publicaciones en inglés. Se eliminaron posibles sesgos con un tercer autor independiente. Se incluyeron un total de 13 artículos que evaluaban medidas .	7 estudios incluidos revelaron un riesgo general bajo. Las pruebas acumuladas apuntan hacia el uso de dispositivos dentales de succión con puntas de aspiración de orificio ancho como estrategias eficaces de mitigación de bioaerosoles . Las pruebas directas emergentes apoyan sistemáticamente el uso complementario de enjuagues bucales con povidona yodada antes del procedimiento para mitigar el riesgo de transmisión directa en la práctica ortodóncica .	Una evaluación exhaustiva de los riesgos relativos a los PGA y la aplicación de estrategias de mitigación de los procedimientos y basadas en pruebas pueden desempeñar un papel indispensable en la práctica ortodóncica . Se justifica una investigación de modelos biológicamente más relevantes sobre bioaerosoles en entornos de ortodoncia.

2021	Dabiri D et al	A Multi-Disciplinary Review on the Aerobiology of COVID-19 in Dental Settings. ⁹⁰	Ofrecer una visión general de las partículas generadas en entornos clínicos y de cómo el tamaño influye en su distribución, concentración y ruta de generación.	Se revisa una amplia gama de métodos pertinentes de caracterización y recuento de partículas , junto con su rango de trabajo, fiabilidad y limitaciones.	Los estudios sobre SARS-CoV-2 son aún limitados, pero la bibliografía apoya el uso de mascarillas como una medida preventiva. Esta revisión describe otras formas en que las clínicas pueden proteger a los pacientes y al personal, que incluyen la modificación del diseño existente de la sala, el equipo dental y el sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). Entre las modificaciones más asequibles se incluye la colocación de una unidad de aire con partículas de alta eficiencia (HEPA) cerca del sillón del paciente o el uso de irradiación germicida ultravioleta junto con la ventilación. Además, podrían utilizarse ventiladores portátiles para dirigir el flujo de aire en una dirección.	Es necesaria una mayor concienciación entre los profesionales de la odontología sobre la relación entre la dinámica de partículas y la odontología clínica, y se necesitan investigaciones adicionales para colmar las amplias lagunas de conocimiento en este campo.
2021	Martín-Quintero I et al	Air particulate concentration during orthodontic procedures: a pilot study ⁹¹	Evaluar la dispersión de partículas implicada en los procedimientos dentales realizados durante los tratamientos de ortodoncia. Se consideraron variantes como la temperatura y la humedad relativa en el gabinete dental	Mediante un contador de partículas, se llevó a cabo un estudio piloto en el que se realizaron 98 grabaciones consecutivas durante las citas de pacientes sometidos a tratamientos de ortodoncia. Se registraron la temperatura, la humedad relativa y las partículas presentes al inicio (AR) y durante la cita (BR).	El número de partículas presentes, independientemente de su tamaño, fue mucho mayor en AR que en RC ($p < 0,001$). Lo mismo ocurrió con la humedad relativa y la temperatura ambiente. Se determinó que la relación entre la humedad relativa y el número de partículas era exponencial.	Desde el momento en que un paciente entra en una consulta dental, se genera un gran número de partículas adicionales. Durante el tratamiento, aumenta el número de partículas de 0,3 micras, que tienen una gran capacidad para penetrar en las vías respiratorias. Además, se observa una relación entre la humedad relativa y la formación

				Se realizó un registro de control (RC) de temperatura, humedad relativa y partículas presentes antes del inicio de la actividad clínica.		de partículas.
2022	Miranda C et al	Front lines of the COVID-19 pandemic: what is the effectiveness of using personal protective equipment in health service environments?-a systematic review ⁸⁰	Evaluar la efectividad del uso de equipos de protección individual (EPI) en entornos cerrados, similares a las salas de espera o de examen de los centros sanitarios, ante la exposición a bioaerosoles.	Se seleccionaron combinaciones de palabras para seis bases de datos electrónicas y para la literatura gris. Se utilizó el "PECOS" : humanos y/o modelos experimentales que simulan aerosoles (Población); exposición a aerosoles y uso de mascarillas/respiradores (exposición/intervención); controlados o no controlados (comparación); eficacia de los EPI y exposición del receptor (resultados); y estudios clínicos aleatorizados o no, observacionales o de simulación en laboratorio (Diseño de los estudios).	La estrategia de búsqueda selecciono 35 artículos, de los cuales 13 se incluyeron para la síntesis cualitativa . Una mascarilla quirúrgica o un respirador N95 redujeron el riesgo de transmisión , incluso en distancias cortas. El uso de mascarillas, incluso las de menor poder filtrante, cuando son utilizadas por todos los individuos en el mismo entorno es más eficaz para reducir el riesgo que el uso de respiradores con alto poder filtrante sólo para algunos de los individuos presentes.	El uso de mascarillas es eficaz para reducir el riesgo de transmisión y contagio de un bioaerosol contaminado, con mayor eficacia cuando estos dispositivos son utilizados por la fuentes y el receptor .
2022	Rafiee A et al	Particle Size, Mass Concentration, and Microbiota in Dental Aerosols ⁷⁹	Determinar el tamaño y las concentraciones de las partículas emitidas en 7 procedimientos odontológicos diferentes, así como estimar la contribución	Estudio transversal que se llevó a cabo en una clínica dental de concepto abierto con múltiples operadores al mismo tiempo . La caracterización del tamaño de las partículas y las concentraciones de masa y	Los aerosoles en la mayoría de los procedimientos dentales fueron sub-PM1. La descementación mostraron sistemáticamente más partículas en los rangos PM1, PM2,5, PM4 y PM10 . La microbiota de las muestras de bioaerosoles fue significativamente	Los fluidos nasales y salivales de los pacientes contribuyen en menor medida a la exposición a bioaerosoles del operador , lo que tiene importantes implicaciones para COVID-19. El control de la bioaerosolización de los fluidos

			de los fluidos nasales y salivales del paciente a la microbiota del bioaerosol emitido.	partículas se realizaron utilizando 2 instrumentos de lectura directa: Dust-Trak DRX (modelo 8534) y medidor óptico de partículas (modelo 3330). El muestreo activo de bioaerosoles se realizó antes y durante los procedimientos.	diferente de la de las muestras de saliva y nasales, tanto en composición como en abundancia ($P < 0,05$), pero no fue diferente de la de las muestras de aire ambiente preoperatorio. El eyector de saliva de alto volumen y el eyector de saliva fueron eficaces para reducir el escape de bioaerosoles.	nasales merece una mayor investigación.
2024	Martín-Quintero I et al	Reduction by air purifier of particulate concentration during orthodontic procedures: a pilot study ⁶⁵	Evaluar la eficacia del uso de un purificador de aire durante la atención ortodóncica en el consultorio dental para reducir la concentración de partículas ambientales.	Estudio experimental que se realizó durante una serie de 58 citas consecutivas. Sala única con sistema de aire y de renovación. Sin utilizar alta velocidad. Los pacientes fueron tratados por un único clínico. La medición de partículas se realizó a una altura de 150 cm y a 50 cm de la cabeza del paciente. Se registró el número de partículas de distintos tamaños contenidas en 1 L de aire cada minuto, la temperatura (°C) y la humedad relativa (%). Las mediciones se tomaron con el contador de partículas de sala limpia TROTEC® modelo 220 calibrado por el fabricante.	Se obtuvieron reducciones significativas en el número de partículas para todos los tamaños de partículas excepto para las partículas más grandes contadas (10 µm) mediante el uso del filtro de aire. También se observó una marcada asociación entre mayores niveles de humedad y mayores recuentos de partículas.	Se encontraron correlaciones significativas entre el uso del filtro en la consulta diaria de ortodoncia y el número de partículas de distintos tamaños. Un uso menos frecuente del filtro se corresponde con un aumento de estas partículas en el aire.

Tabla 2. Búsqueda “bioaerosols and orthodontics”.

5.2 PARTE EXPERIMENTAL - ESTUDIOS PILOTO

Posterior a la revisión bibliográfica, y con el fin de responder a las preguntas no resueltas por la literatura existente, se realizaron dos estudios piloto consecutivos. Ambos estudios siguieron un diseño experimental prospectivo, con el objetivo de evaluar cómo los procedimientos clínicos en ortodoncia afectan la calidad del aire en el gabinete dental, específicamente en relación con la concentración de partículas suspendidas.

Fase I: Estudio de la Concentración de Partículas en el Aire Durante Procedimientos de Ortodoncia

En la primera fase del estudio, se reclutaron **98 pacientes consecutivos** de la Clínica Universitaria de la Universidad Alfonso X el Sabio. La selección de una muestra consecutiva permitió evitar sesgos de selección, garantizando que los pacientes incluidos representaran fielmente el flujo habitual de casos tratados en un entorno clínico universitario.

El entorno experimental se limitó a un **gabinete dental ubicado en el centro de la policlínica** de la universidad. Este gabinete contaba con un sistema de aire acondicionado forzado sin mezcla, manteniendo una ventilación constante que evitaba la acumulación de aerosoles en el aire. La sala, semiabierta y con características homogéneas, fue elegida para garantizar que las condiciones del entorno fueran reproducibles en cada sesión, minimizando las variaciones ambientales.

Para la **medición de partículas en el aire**, se empleó un **contador de partículas TROTEC® cleanroom modelo 220**, calibrado según la norma ISO 21501-4. Este dispositivo es capaz de medir partículas de seis tamaños diferentes (0.3, 0.5, 1, 2.5, 5 y 10 micrones) y se seleccionó por su alta precisión y fiabilidad, aspectos cruciales para garantizar la calidad de los datos recogidos.

Las mediciones se realizaron a **una altura de 1.5 metros** sobre el suelo y a **0.5 metros de la cabeza del paciente**, de acuerdo con los estándares internacionales para la medición de partículas en entornos clínicos. Esta distancia se eligió porque simula la zona en la que el operador dental, los asistentes y el paciente estarían expuestos a aerosoles generados durante los procedimientos.

Los procedimientos clínicos incluidos en el estudio fueron los típicos de una revisión ortodóntica fija, como el **cambio de arcos, sellado de brackets caídos, colocación de accesorios biomecánicos, cambio de ligaduras y toma de impresiones**. En todos estos procedimientos se utilizó una **jeringa de agua-aire**, y en algunos casos un **instrumento rotatorio de baja velocidad** para generar aerosoles, lo que permitió evaluar el impacto de estas intervenciones en la concentración de partículas en el aire.

Las mediciones se realizaron en dos momentos: antes del inicio de cualquier procedimiento (con el paciente sentado sin mascarilla) y durante el procedimiento, registrando el número de partículas generadas en el minuto en que se detectó el pico de partículas de 0.3 micrones. Estos datos se complementaron con la medición de la **temperatura** y la **humedad relativa** para descartar posibles influencias ambientales en los resultados.

Fase II: Impacto de un Filtro de Aire HEPA en la Concentración de Partículas

En la segunda fase del estudio, se evaluó el efecto de un filtro de aire HEPA en la reducción de partículas suspendidas durante los procedimientos clínicos. Para esta fase, se reclutaron **58 pacientes consecutivos** que acudieron a citas ortodónticas en la misma clínica universitaria.

El ambiente clínico fue un gabinete dental similar al utilizado en la Fase I, pero en esta ocasión se añadió un **sistema de aire acondicionado con renovación forzada y una unidad de ventilación** equipada con un filtro de aire HEPA multietapa (modelo BLOW100). Este filtro, diseñado para capturar partículas de diferentes tamaños, se utilizó para estudiar su eficacia en la reducción de aerosoles generados durante los procedimientos ortodónticos.

Las mediciones de partículas se realizaron nuevamente a **1.5 metros de altura y 0.5 metros de la cabeza del paciente**. Se dividieron las sesiones de trabajo en dos grupos: uno de **control**, en el que el filtro de aire estaba presente pero no activado, y otro **experimental**, en el que el filtro HEPA funcionaba en modo automático. Las sesiones de control y experimentales se alternaron de forma aleatoria para evitar que las condiciones ambientales sesgaran los resultados.

Al igual que en la Fase I, las mediciones de partículas incluyeron seis tamaños (0.3, 0.5, 1, 2.5, 5 y 10 micrones) y se grabaron en video para verificar los picos de partículas observados durante los procedimientos. Los datos se complementaron con mediciones de temperatura y humedad, para asegurar que las variaciones ambientales no influyeran en la concentración de partículas.

Este diseño experimental, con la incorporación de un filtro HEPA, permitió evaluar de forma objetiva si la implementación de estos sistemas de filtración de aire es efectiva para reducir la exposición a aerosoles en el entorno odontológico, contribuyendo al debate actual sobre las medidas de bioseguridad en tiempos de pandemia y postpandemia.

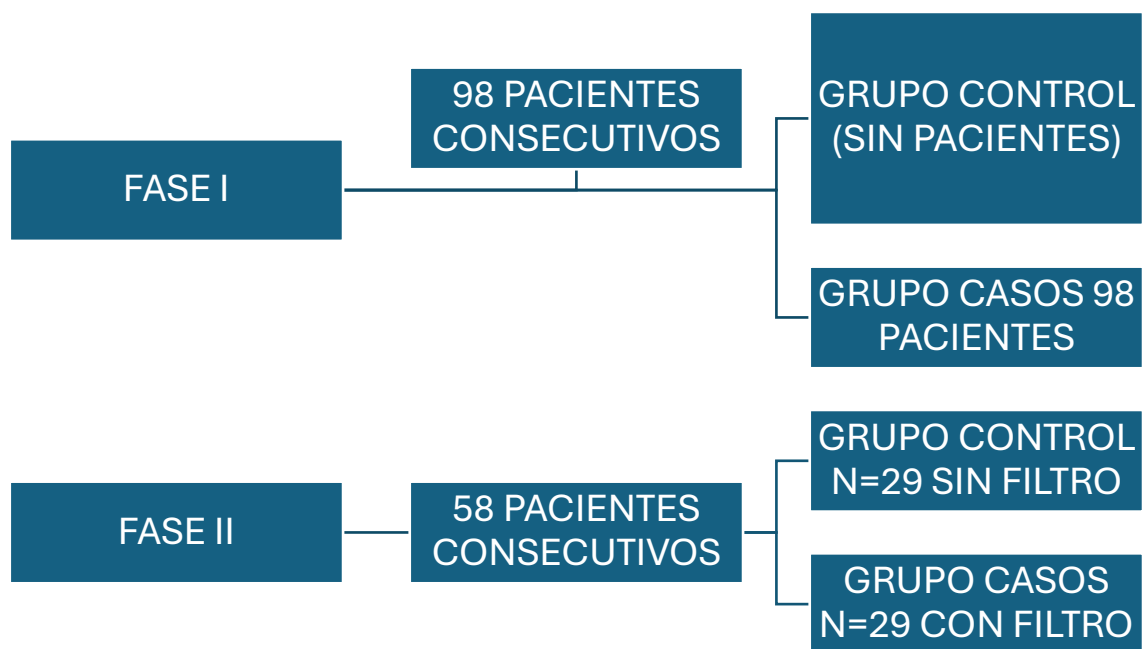


Figura 8. Diferenciación de grupos de la muestra



Figura 9. Filtro de aire utilizado, BIOW100.



Figura 10. A. Disposición contador TOTREC con paciente. B. contador de partículas TROTREC® cleanroom modelo 220 (ISO 21501-4)

6. RESULTADOS

Los resultados más destacables obtenidos en la primera fase de la investigación son:

- El número de partículas de cualquier tamaño es significativamente mayor al inicio del tratamiento en comparación con el grupo de control.
- Se observan diferencias significativas en la temperatura ambiente y la humedad relativa, que aumentan en comparación con la medición de control.
- Al final del tratamiento, el número de partículas de cualquier tamaño es significativamente mayor, con un efecto de tamaño muy grande.
- La temperatura aumenta significativamente y la humedad relativa se reduce, aunque este último cambio es más pequeño.
- Se observa una relación significativamente fuerte entre la humedad relativa y el número de partículas, indicando que a mayor humedad relativa en una habitación, mayor es el número de partículas

En resumen, el estudio demuestra que durante el tratamiento ortodóntico, se observan cambios significativos en el número de partículas de cualquier tamaño, la temperatura y la humedad relativa, con un efecto de tamaño muy grande para el número de partículas. Estos hallazgos respaldan la necesidad de considerar estos factores en el diseño y la implementación de tratamientos ortodónticos. Estos hallazgos son cruciales para entender cómo la humedad relativa puede influir en el tratamiento ortodóntico.

En conclusión, este estudio piloto muestra un aumento significativo en el número de partículas desde el momento en que el paciente entra en el gabinete dental y retira la mascarilla, en comparación con las partículas ambientales basales que podrían haberse encontrado anteriormente. En cuanto a las partículas generadas durante el tratamiento, el hallazgo principal es un aumento en las partículas de 0.3 micrones.

El número de partículas, especialmente las más pequeñas, aumenta desde el tiempo de control con una sala vacía en comparación con el inicio del tiempo de tratamiento (300%).

Además, se observa una correlación entre la humedad relativa del medio y la formación de partículas, con una mayor formación de partículas de diferentes tamaños

cuando las condiciones son más húmedas, lo cual se informa que es más favorable para la supervivencia de los virus.

Una de las posibles medidas a considerar es la modificación de los ajustes ambientales a través del control climático. Un aumento en la temperatura puede llevar a la deshidratación y a una disminución en el tamaño de las partículas generadas en comparación con otras partículas grandes. Además, estas partículas modeladas en algunos estudios pueden haber sido inactivadas anteriormente bajo condiciones de temperatura aumentada debido a la deshidratación, así como posiblemente debido a cambios en el pH.

Se necesitan más estudios para establecer qué medidas deben implementarse durante el cuidado del paciente en la oficina dental, como protocolos para la renovación del aire, limitaciones de capacidad, uso de filtros de aire purificador, uso de deshumidificadores, realizar el estudio en clínicas con diferentes sistemas de ventilación o en diferentes ubicaciones geográficas con diferentes condiciones climáticas.

Al realizar el análisis descriptivo de los obtenidos en la primera fase, se midieron 8 variables cuantitativas en 3 situaciones: (a) medida de control: $n=74$, (b) medida a pacientes al inicio del tratamiento: $n=98$; y (c) medida a los mismos pacientes ($n=98$) durante el tratamiento.

En primer lugar se procede a realizar un estudio exploratorio y descriptivo de estas variables. La parte exploratoria, tiene como objetivo principal determinar si las variables se distribuyen conforme a la normalidad estadística; y para ello se han utilizado los índices de asimetría y curtosis y el Test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. Adicionalmente se ha recurrido al gráfico Q-Q normal, como un indicador visual del ajuste.

Los resultados de esta exploración se resumen en la tabla 3 que sigue. Se ha comprobado que:

- En la medida de control, casi todas las variables recogidas sobre el nº de partículas de distintos tamaños se distribuyen normalmente ($p > .05$ en el Test KS). Así mismo la HR tiende hacia la normalidad. Solo dos variables: Partículas $> 10\mu$ y Temperatura ambiental tienen desvíos muy significativos ($p < .01$) aunque sus gráficos Q-Q nos revelan que son bastante pequeños en distancia con respecto al modelo normal.
- En la medición inicial del grupo de pacientes, se aprecian algunas asimetrías en las variables del tamaño de las partículas, pero sin embargo los desvíos según el Test KS de bondad de ajuste aun siendo significativos ($p < .05$) son leves y por tanto tolerables. Solamente en una variable, el desvío es muy significativo ($p < .01$) y el gráfico Q-Q confirma esta falta de normalidad estadística.
- En la medición realizada durante el tratamiento odontológico, en la mayoría de las variables vuelven a aparecer desvíos que no alcanzan significación estadística ($p > .05$) en el Test KS, lo que nos permite aceptar su normalidad. Y solo en una, el desvío muy significativo ($p < .01$) confirmado por su gráfico Q-Q nos impide aceptar que siga el modelo de la normal de Gauss.

Tabla 3: Análisis exploratorio. Ajuste a la normalidad estadística de las variables					
SITUACIÓN	VARIABLE	Exploración: Forma		Test KS de Ajuste	
		<i>Asimetría</i>	<i>Curtosis</i>	<i>Valor</i>	<i>P-valor</i>
CONTROL	Partículas >0.3μ	1.00	2.26	0.09 ^{NS}	.515
(N=74)	Partículas >0.5μ	0.49	0.49	0.06 ^{NS}	.927
	Partículas >1μ	0.64	0.18	0.08 ^{NS}	.668
	Partículas >2.5μ	0.72	1.92	0.09 ^{NS}	.524
	Partículas >5μ	0.27	-0.08	0.11 ^{NS}	.288
	Partículas >10μ	0.65	0.47	0.22**	.002
	Temperatura (°C)	-0.35	-1.30	0.27**	.000
	Humedad relativa (%)	0.67	-0.76	0.17 *	.025
PAC.- INICIO	Partículas >0.3μ	0.45	-0.43	0.08 ^{NS}	.549
(N=98)	Partículas >0.5μ	1.20	1.05	0.12 ^{NS}	.101
	Partículas >1μ	1.29	1.20	0.16 *	.010
	Partículas >2.5μ	1.28	0.91	0.18**	.003
	Partículas >5μ	1.42	2.55	0.14 *	.042
	Partículas >10μ	1.95	5.19	0.16 *	.013
	Temperatura (°C)	-0.09	-0.16	0.15 *	.019
	Humedad relativa (%)	-0.84	-0.18	0.20 ^{NS}	.001
PAC.- DURANTE	Partículas >0.3μ	0.32	-0.52	0.07 ^{NS}	.696
(N=98)	Partículas >0.5μ	0.75	0.21	0.10 ^{NS}	.274
	Partículas >1μ	0.78	-0.09	0.13 ^{NS}	.062
	Partículas >2.5μ	0.94	0.43	0.13 ^{NS}	.083
	Partículas >5μ	1.04	0.42	0.14 ^{NS}	.052
	Partículas >10μ	1.09	0.36	0.15 *	.019
	Temperatura (°C)	-0.02	-0.40	0.15 *	.024
	Humedad relativa (%)	-0.81	-0.09	0.19**	.001
NS = Desvío no significativo (p>.05) la variable se distribuye normalmente * = Desvío significativo pero leve (p<.05) la variable tiende hacia el modelo normal ** = Desvío grave significativo (p<.01) la variable no se ajusta a la normalidad					

En resumen, la gran parte de las variables obtenidas se distribuyen normalmente o tienden de forma clara a la normalidad estadística. Solamente hay unas pocas excepciones, muy pocas. Esta conclusión es importante por cuanto es el motivo para la elección de test paramétricos o no-paramétricos en el resto de los métodos estadísticos que se van a realizar destinados a responder a los objetivos/hipótesis de esta investigación.

La tabla 4 contiene los valores de los estadísticos descriptivos clásico, de todo este conjunto de variables.

Tabla 4: Análisis descriptivo de las variables en cada una de las 3 mediciones realizadas.							
SITUACIÓN	VARIABLE	Centralidad			Rango (Mín. / Máx.)	Variabilidad	
		<i>Media</i>	<i>IC 95% de la media</i>	<i>Mediana</i>		<i>Desviación estándar</i>	<i>Rango intercuartil</i>
CONTROL	Partículas >0.3μ	6064.5	5936.1 / 6265.8	6007.0	4585 / 91.24	869.0	1049.8
(N=74)	Partículas >0.5μ	1760.1	1690.2 / 1830.0	1770.0	1192 / 257.0	301.6	354.5
	Partículas >1μ	368.2	347.1 / 389.3	354.0	210 / 634	91.1	11.0
	Partículas >2.5μ	61.1	56.8 / 65.3	60.5	18 / 129	18.4	20.5
	Partículas >5μ	5.1	4.6 / 5.6	5.0	1 / 12	2.3	4.0
	Partículas >10μ	3.2	2.8 / 3.5	3.0	0 / 8	1.6	2.0
	Temperatura (°C)	22.2	22.0 / 22.4	22.0	21.0 / 23.05	0.8	1.0
	Humedad relativa	42.8	41.9 / 43.6	42.0	39.0 / 52.0	3.6	7.0
(%)							
PAC.- INICIO	Partículas >0.3μ	17558.5	16015.8 / 19101.2	16606.5	4127 / 39797	7694.8	12561.3
(N=98)	Partículas >0.5μ	7715.2	6894.6 / 85.35.8	6571.5	1798 / 20353	4092.9	5220.0
	Partículas >1μ	2077.7	1843.2 / 2312.1	1728.0	559 / 5660	1169.6	1448.8
	Partículas >2.5μ	471.0	414.2 / 527.8	377.0	104 / 1250	283.4	293.5
	Partículas >5μ	40.9	35.9 / 46.0	33.5	7 / 129	25.2	30.3
	Partículas >10μ	27.2	23.7 / 30.8	24.0	6 / 96	17.6	21.3
	Temperatura (°C)	22.7	22.5 / 22.9	23.0	20.0 / 24.9	1.6	1.3
	Humedad relativa	46.3	44.7 / 47.9	48.2	28.0 / 58.8	8.0	10.0
(%)							
PAC.- DURANTE	Partículas >0.3μ	22726.2	20840.8 / 24611.6	21933.5	4991 / 45021	9404.1	12556.5
(N=98)	Partículas >0.5μ	9107.9	8250.0 / 9965.8	8881.2	2134 / 22112	4279.1	5690.3
	Partículas >1μ	2448.9	22004.5 / 2693.3	2379.5	731 / 5855	1219.0	1730.3
	Partículas >2.5μ	566.2	504.0 / 628.3	546.0	129 / 1508	309.8	433.8
	Partículas >5μ	59.2	52.1 / 66.4	56.9	10 / 164	35.6	42.0
	Partículas >10μ	37.9	33.5 / 42.4	36.4	10 / 95	22.4	27.5
	Humedad relativa	23.1	22.9 / 23.3	23.1	20.0 / 25.5	1.1	2.0
(%)							
	Temperatura (°C)	45.3	43.7 / 46.9	45.6	27.0 / 60.0	7.9	8.4

A continuación se aborda el análisis de las diferencias entre los valores medios de estas variables en las condiciones de medición. La tendencia a la normalidad de gran parte de las variables nos permite la utilización de test paramétricos. En concreto se ha recurrido al Anova de 1 factor que tiene la ventaja de que además de la significación nos aporta el valor del tamaño del efecto (R^2) como un índice valorativo de la magnitud de los cambios.

La falta de ajuste de algunas variables, nos ha recomendado testear el resultado de estos Anovas con su alternativa no-paramétrica (Mann-Whitney o Wilcoxon, según el caso), con el objetivo de determinar si estos desajustes con respecto a la normalidad tienen incidencia en la conclusión estadística que tomamos desde el test paramétrico. Por tanto, se ofrecen los resultados con ambos test en todos los pares de contrastes.

Como se comprobará, la presencia de significación estadística se obtiene, en todos los contratos, tanto si se analiza con la prueba paramétrica como si se hace con la alternativa no-paramétrica, por lo que la falta de normalidad estadística en algunas variables no tiene consecuencias sobre los resultados inferenciales.

La tabla 5 contiene el resumen de los resultados de los test utilizados. Como se puede comprobar en ella, en las 6 variables de medición de partículas, con independencia del tamaño de las mismas, se ha encontrado diferencias altamente significativas ($p < .001$ tanto en Anova como en la alternativa MW) que se acompañan de tamaño del efecto muy grandes (entre el 44.7% y el 49.0%).

En todos los casos, los valores promedio (media/mediana) son mayores en las mediciones al inicio del tratamiento. Por tanto, estas son evidencias estadísticas muy sólidas que nos permiten afirmar que la cantidad de partículas, de cualquier tamaño, es muy superior en la situación inicial con respecto al control.

Así mismo, se encuentran diferencias muy significativas (al menos $p < .01$) tanto en la Temperatura ambiental como en la Humedad Relativa; aunque es cierto que ahora los tamaños del efecto son solo moderados (7.5% y 6.6%) por lo que la magnitud de los cambios es sensiblemente menor en estas dos variables. Los valores promedios son más altos en las medidas al inicio; por tanto estos resultados son evidencia estadística sólida para concluir que también la temperatura y la humedad es superior, cuando se inicia el tratamiento con respecto al momento de control.

Tabla 5: Análisis inferencial. Comparación intergrupo de las variables registradas. Inicio vs control.							
VARIABLES	<i>Media (D.E.) / Mediana</i>		ANOVA		Tamaño del efecto: R²	Test Mann-Whitney	
	INICIO Tto (n=98)	CONTROL (n=74)	Valor F	P		Valor	P
Partículas >0.3μ	17558.5 (7694.8) / 16606.5	6064.5 (869.0) / 6007.0	163.31**	.000	.490	10.63**	.000
Partículas >0.5μ	7715.2 (4092.9) / 6571.5	1760.1 (301.6) / 1770.0	155.80**	.000	.478	11.11**	.000
Partículas >1μ	2077.7 (1169.6) / 1728.0	368.2 (91.1) / 354.0	157.14**	.000	.480	11.20**	.000
Partículas >2.5μ	471.0 (283.4) / 377.0	61.1 (18.4) / 60.5	154.15**	.000	.476	11.21**	.000
Partículas >5μ	40.9 (25.2) / 33.5	5.1 (2.3) / 5.0	148.21**	.000	.468	11.16**	.000
Partículas >10μ	27.2 (17.6) / 24.0	3.2 (1.6) / 3.0	137.32**	.000	.447	11.23**	.000
Temperatura (°C)	22.7 (1.0) / 23.0	22.2 (0.8) / 22.0	13.88**	.000	.075	3.61**	.000
Humedad Rel. (%)	46.3 (8.0) / 48.2	42.8 (3.6) / 42.0	12.10**	.001	.066	4.66**	.000
** = Altamente significativo							

Se ha encontrado (tabla 6) que existen diferencias altamente significativas ($p<.001$) en el número de partículas, de cualquiera de los tamaños, que equivalen a tamaño del efecto de nuevo muy grandes y superiores a los anteriores (entre el 50.0% y el 57.6%). Puesto que los valores promedio son claramente más altos en la situación durante el tratamiento, podemos concluir que tenemos evidencias estadísticas muy sólidas para afirmar que durante el tratamiento el número de partículas de cualquier tamaño es muy superior con respecto a la medida de control.

A la par, se observa que también hay un aumento de la temperatura ($p<.001$; efecto grande: 17.5%), así como un incremento significativo ($p<.05$) pero menor (efecto: 3.7%) de la H.R.

Tabla 6: Análisis inferencial. Comparación intergrupo de las variables registradas. Durante vs control.							
VARIABLES	<i>Media (D.E.) / Mediana</i>		<i>ANOVA</i>		Tamaño del efecto: R^2	<i>Test Mann-Whitney</i>	
	DURANTE Tto (n=98)	CONTROL (n=74)	Valor F	P		Valor	P
Partículas >0.3μ	22726.2 (9404.1) / 21933.5	6064.5 (869.0) / 6007.0	230.48**	.000	.576	10.93**	.000
Partículas >0.5μ	9107.9 (4279.1) / 8195.0	1760.1 (301.6) / 1770.0	217.08**	.000	.561	11.20**	.000
Partículas >1μ	2448.9 (1219.0) / 2091.0	368.2 (91.1) / 354.0	214.39**	.000	.558	11.21**	.000
Partículas >2.5μ	566.2 (309.8) / 474.0	61.1 (18.4) / 60.5	195.84**	.000	.535	11.21**	.000
Partículas >5μ	59.2 (35.6) / 48.5	5.1 (2.3) / 5.0	169.99**	.000	.500	11.21**	.000
Partículas >10μ	37.9 (22.4) / 30.0	3.2 (1.6) / 3.0	178.03**	.000	.512	11.25*	.000
Temperatura (°C)	23.1 1.1) / 23.0	22.2 (0.8) / 22.0	36.11**	.000	.175	5.42**	.000
Humedad Rel. (%)	45.3 (7.9) / 47.5	42.8 (3.6) / 42.0	6.46 *	.012	.037	4.04**	.000
* = Significativo ** = Altamente significativo							

Por último, al comparar los valores promedio de las mediciones realizadas durante la sesión con las del inicio, se siguen encontrando diferencias altamente significativas ($p<.001$) en todas las variables, siendo siempre los valores más altos durante; excepto en la HR donde son iguales o menores. El tamaño del efecto que expresa la magnitud de los cambios es mucho más elevado en la variable de las partículas más pequeñas (56.8%) en comparación con los efectos del resto de variables (<30%) aunque siendo siempre efectos grandes o muy grandes (entre el 17.7% y el 29.1%).

En consecuencias, tenemos evidencias estadísticas muy sólidas para poder afirmar que el número de partículas aumenta durante la sesión con respecto al inicio; especialmente de las más pequeñas ($<0.3\mu$). Así mismo, tenemos evidencias suficientes para afirmar que aumenta la temperatura ($p<.001$; efecto del 28.8%) y que se reduce la H.R. ($p<.001$ y efecto del 26.7%).

Tabla 7: Análisis inferencial. Comparación intragrupo de las variables registradas. Durante vs Inicial.								
VARIABLES	<i>Media (D.E.) / Mediana</i>		ANOVA		Tamaño del efecto: R^2	Test Mann-Whitney		
	DURANTE Tto (n=98)	INICIO Tto (n=98)	Valor F	P		Valor	P	
Partículas $>0.3\mu$	22726.2 9404.1) / 21933.5	17558.5 (7694.8) / 16606.5	127.33**	.000	.568	8.52**	.000	
Partículas $>0.5\mu$	9107.9 (4279.1) / 8195.0	7715.2 (4092.9) / 6571.5	33.47**	.000	.257	5.99**	.000	
Partículas $>1\mu$	2448.9 1219.0) / 2091.0	2077.7 (1169.6) / 1728.0	26.88**	.000	.217	4.93**	.000	
Partículas $>2.5\mu$	566.2 (309.8) / 474.0	471.0 (283.4) / 377.0	20.92**	.000	.177	4.34**	.000	
Partículas $>5\mu$	59.2 (35.6) / 48.5	40.9 (25.2) / 33.5	39.89**	.000	.291	5.76**	.000	
Partículas $>10\mu$	37.9 (22.4) / 30.0	27.2 (17.6) / 24.0	35.46**	.000	.268	5.86**	.000	
Temperatura (°C)	23.1 (1.1) / 23.0	22.7 (1.0) / 23.0	39.19**	.000	.288	5.38**	.000	
Humedad Rel. (%)	45.3 (7.9) / 47.5	46.3 (8.0) / 48.2	35.36**	.000	.267	5.37**	.000	
** = Altamente significativo								

A continuación se describe la parte más importante de este estudio estadístico, que es la relación de la H.R. con al número de partículas. Para ello se ha comenzado por determinar cuál es la forma de relación que mejor se ajusta a los datos empíricos. Se ha recurrido a la modelización estadística mediante Ecuaciones de Regresión del Modelo General. Se ha verificado el grado de ajuste de los datos a modelos predictivos con relación: Lineal, Cuadrática, Cúbica, Logarítmica, Inversa, Potencial y Exponencial.

Los resultados obtenidos con todas estas pruebas nos han llevado a la conclusión de que de todos ellos: el potencial, seguido del exponencial, son los que mejor grado de ajuste presentan. En el caso del modelo potencial, la constante poblacional no es estadísticamente significativa ($p>.05$) lo que supone que para un valor 0% de HR, habría un valor también 0 (o muy pequeño, no significativo) de partículas; mientras que, en el modelo exponencial, la necesidad de incluir dicha constante con un valor >0 (significativo: $p<.01$) reduce de forma notable el ajuste. En consecuencia, se ha optado por considerar y presentar solamente los resultados de los modelos de Regresión Potencial obtenidos para cada una de las variables.

La tabla 8 contiene los resultados de la predicción del nº de partículas de distintos tamaños medidas en la situación de inicio de la sesión, desde el valor de la HR que hay en ese momento en la sala. Los resultados en primer lugar, constituyen una prueba estadística muy sólida de la relación entre la HR y el N° de partículas, de tipo creciente, es decir que se observa un mayor número de partículas cuando la HR es mayor en la sala. Pero, como sabemos, esta relación no es lineal sino potencial del tipo: $Y=Xb \pm \varepsilon$.

En los modelos que se presentan se puede comprobar que el grado de ajuste de este tipo de modelo matemático a los datos empíricos que se han recogido, en la situación inicial de medida es muy elevado (siempre por encima del 97% y llegando incluso a estar por encima del 99%). Este ajuste es mejor cuanto menor es el tamaño de las partículas, observándose la caída del mismo a partir de partículas $>5\mu$; y siendo el mejor en las más pequeñas: tanto en $>0.3\mu$ como en $>0.5\mu$. Los coeficientes potenciales (b) de estos modelos van reduciendo su valor, a medida que aumenta el tamaño de las partículas, a la par que se va incrementando el margen de error (aunque es cierto que este margen es muy pequeño en todos los casos).

La conclusión global, es que hay una alta relación entre los parámetros medidos que nos permite realizar predicciones con alto grado de confianza.

Tabla 8: Análisis correlacional. Modelos de Regresión Potencial, predictores del N° de partículas de cada tamaño, desde la HR. Situación inicial. (N=98)

<i>Variable predicha</i>	<i>R² ajuste</i>	<i>Test de contraste</i>		<i>COEFICIENTE</i>	<i>Error estándar</i>
		Valor	P-valor		
<i>Partículas >0.3μ</i>	.998	219.03**	.0000	2.53	±0.427
<i>Partículas >0.5μ</i>	.998	207.30**	.0000	2.31	±0.432
<i>Partículas >1μ</i>	.996	164.21**	.0000	1.96	±0.452
<i>Partículas >2.5μ</i>	.994	125.44**	.0000	1.57	±0.474
<i>Partículas >5μ</i>	.975	61.69**	.0000	0.93	±0.568
<i>Partículas >10μ</i>	.972	57.95**	.0000	0.82	±0.537
** = Altamente significativo					

Los resultados del mismo estudio realizado con las variables recogidas al durante de la sesión se presentan en la tabla 9 y como se puede observar en ella, a pesar de la significación del cambio encontrado entre ambas situaciones de medida, los resultados que hemos encontrado son muy semejantes entre sí. Es decir, que se mantiene

la existencia de una relación potencial creciente entre la HR de la sala y el número de partículas observadas. Tanto los valores de los coeficientes, como el de los errores estándar de cada uno de los modelos son muy similares a los que se habían obtenido en la situación inicial.

Tabla 9: Análisis correlacional. Modelos de Regresión Potencial, predictores del N° de partículas de cada tamaño, desde la HR. Situación durante. (N=98)

Variable <i>predicha</i>	R ² ajuste	Test de contraste		COEFICIENTE	Error estándar
		Valor	P-valor		
Partículas >0.3μ	.998	227.11**	.0000	2.61	±0.433
Partículas >0.5μ	.998	197.19**	.0000	2.37	±0.452
Partículas >1μ	.997	167.64**	.0000	2.02	±0.454
Partículas >2.5μ	.994	122.67**	.0000	1.63	±0.500
Partículas >5μ	.980	68.74**	.0000	1.03	±0.563
Partículas >10μ	.977	63.74**	.0000	0.92	±0.540

** = Altamente significativo

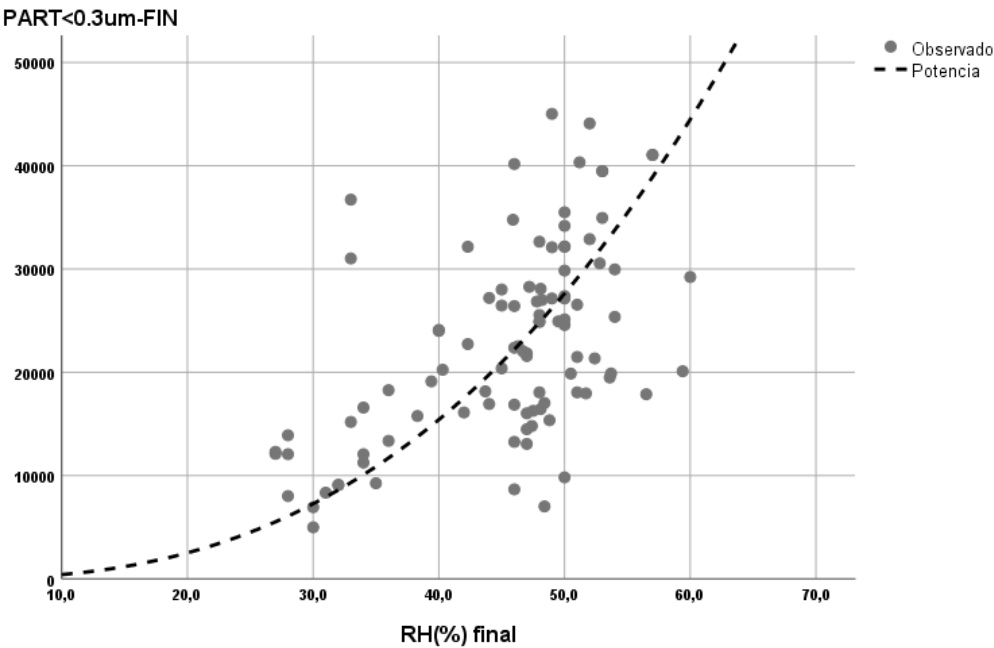


Figura 11. Gráfico de tendencia de este grupo de modelos

Habiéndose demostrado que hay aumento del nº de partículas al durante del tratamiento con respecto a la medida inicial, vamos a determinar qué relación tiene la HR en dichos aumentos. Para ello se han generado 1 variables que expresa la magnitud de la diferencia. Es decir se han obtenido los valores del cambio (incremento) del nº de

partículas de cada tamaño. Posteriormente se ha estudiado la relación de estas variables diferenciales con la HR tanto del inicio como durante la sesión.

En este estudio se ha encontrado que el modelo que mejor se ajusta es el Lineal habiéndose encontrado relaciones directas tales que a un mayor valor de la HR le corresponde un mayor incremento diferencial (durante-inicial) entre el nº de partículas. Los ajustes de estos modelos, son sensiblemente inferiores a los encontrados en los modelos anteriores, pero mantienen aún su alta significación. El ajuste es mucho mejor para el cambio diferencial en el nº de partículas más pequeñas; en tanto que en todos los demás el ajuste es bastante menor.

Tabla 10: Análisis correlacional.					
Modelos de Regresión Potencial, predictores del N° de partículas de cada tamaño, desde la HR inicial. (N=98)					
<i>Variable predicha</i>	<i>R² ajuste</i>	<i>Test de contraste</i>		<i>COEFICIENTE</i>	<i>Error estándar</i>
		Valor	P-valor		
<i>Cambio en el N° de Partículas >0.3μ</i>	.595	11.95**	.0000	112.76	±4385
<i>Cambio en el N° de Partículas >0.5μ</i>	.242	5.57**	.0000	28.42	±2406
<i>Cambio en el N° de Partículas >1μ</i>	.210	5.07**	.0000	7.74	±712
<i>Cambio en el N° de Partículas >2.5μ</i>	.164	4.37**	.0000	1.95	±208
<i>Cambio en el N° de Partículas >5μ</i>	.270	6.00**	.0000	0.23	±18
<i>Cambio en el N° de Partículas >10μ</i>	.270	6.00**	.0000	0.27	±18
Modelos de Regresión Potencial, predictores del N° de partículas de cada tamaño, desde la HR durante. (N=98)					
<i>Variable predicha</i>	<i>R² ajuste</i>	<i>Test de contraste</i>		<i>COEFICIENTE</i>	<i>Error estándar</i>
		Valor	P-valor		
<i>Cambio en el N° de Partículas >0.3μ</i>	.585	11.80**	.0000	114.59	±4417
<i>Cambio en el N° de Partículas >0.5μ</i>	.239	5.52**	.0000	29.26	±2410
<i>Cambio en el N° de Partículas >1μ</i>	.207	5.03**	.0000	7.88	±713
<i>Cambio en el N° de Partículas >2.5μ</i>	.162	4.33**	.0000	1.98	±208
<i>Cambio en el N° de Partículas >5μ</i>	.267	5.95**	.0000	0.23	±18
<i>Cambio en el N° de Partículas >10μ</i>	.267	5.95**	.0000	0.23	±18
** = Altamente significativo					

Como se ha mencionado con anterioridad al finalizar la primera fase continuamos con el siguiente estudio experimental se realizó durante 58 citas de ortodoncia consecutivas programadas para pacientes que asistían a la clínica Universitaria.

Los resultados mostraron una correlación negativa entre el uso de filtros (variable independiente) y el número de partículas de $0.3\ \mu\text{m}$ (variable dependiente), con un coeficiente de regresión de -0.284 , lo que indica que con un menor uso de filtro, el número de partículas de $0.3\ \mu\text{m}$ aumenta. Se observa una tendencia similar para las partículas de $0.5\ \mu\text{m}$, $1\ \mu\text{m}$, $2.5\ \mu\text{m}$, $5\ \mu\text{m}$ y $10\ \mu\text{m}$, con coeficientes de regresión negativos, lo que sugiere que con menor uso de filtros, el número de estas partículas también aumenta. Sin embargo, la correlación entre el uso de filtros y la humedad relativa no es estadísticamente significativa.

El análisis de correlación entre los niveles de humedad y el tamaño de las partículas mostró una relación positiva, indicando que a mayor humedad relativa, mayor es el número de partículas presentes. Además, se observó una relación negativa entre la humedad y la temperatura, lo que sugiere que a menor temperatura, mayor es el nivel de humedad.

Este estudio piloto reveló que el uso del filtro (BIOW100, un purificador de aire con filtros HEPA multietapa) en las practica diaria de ortodoncia está relacionado con el número de partículas de distintos tamaños en el aire. Se observó que cuando el filtro no es utilizado, el número de partículas en el aire aumenta. Además, se descubrió que los conteos de partículas más pequeñas y condiciones de menor humedad están directamente relacionados con el uso efectivo del filtro.

Estos hallazgos subrayan la importancia de utilizar filtros de aire en las clínicas dentales para mantener un ambiente saludable para el personal y los pacientes. Por lo tanto, se recomienda realizar más investigaciones para optimizar la calidad del aire en las clínicas dentales y mejorar el bienestar de todos los involucrados.

La media de partículas encontradas con tamaño de 0.3um fue de 11218.66, SD ± 5519.26 , mediana 9908.44, rango 2951.33-27226.30 (figura 12).

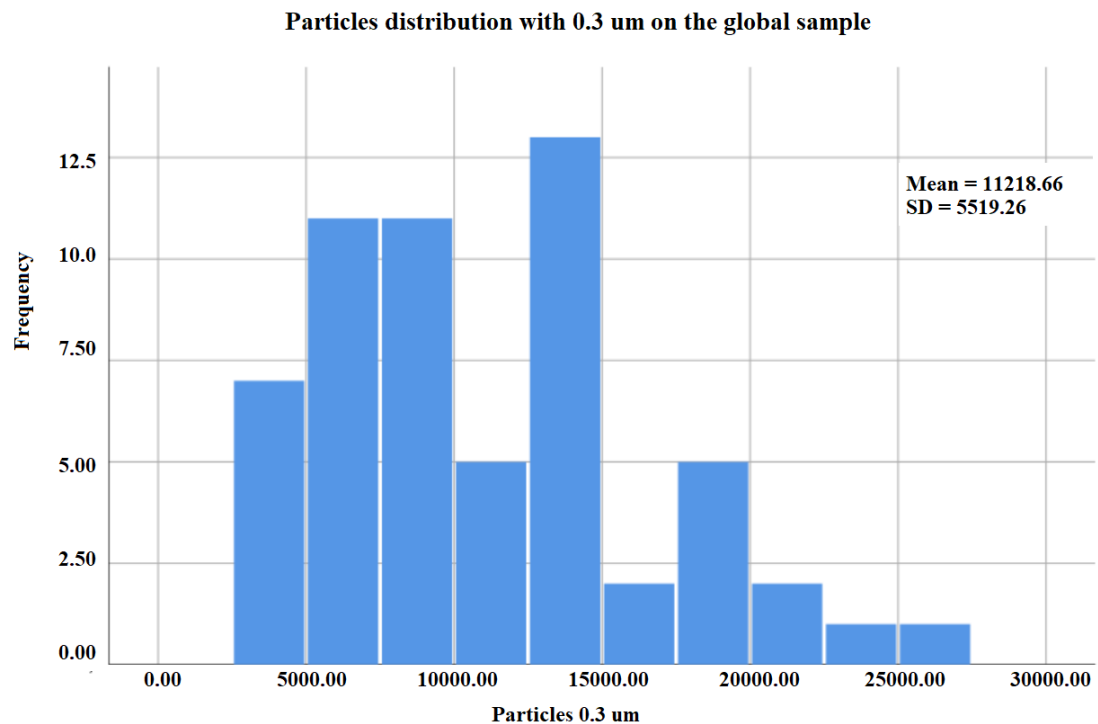


Figura 12. Partículas con tamaño 0.3um en la totalidad de la muestra.

La tabla 11 y la figura 13 muestran el número de partículas encontradas con tamaño de 0.3um en el grupo filtro y el grupo control. Fue menor la cantidad de partículas en el grupo filtro con diferencias significativas ($p=0.031$).

Tabla 11. Número de partículas encontradas con tamaño de 0.3um en el grupo filtro y el grupo control				
Group	Mean	SD	Median	Range
Filtro	9665.12	4262.99	9321.93	2955.54-20779.71
Control	12772.19	6232.18	12985.93	2951.33-27226.30

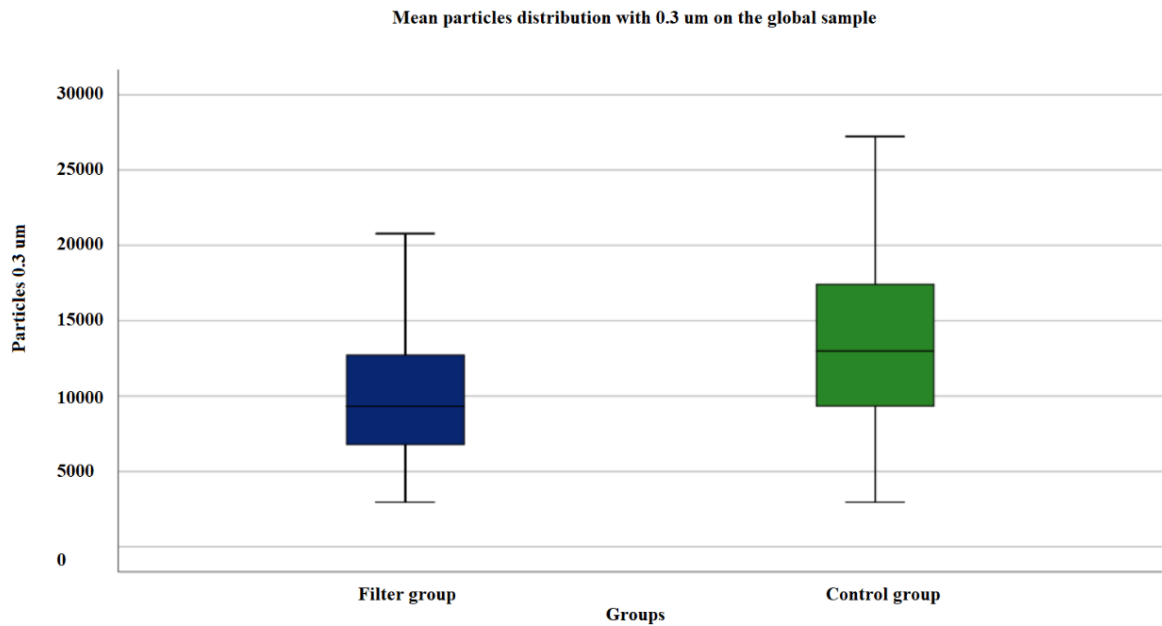


Figura 13. Media del número de partículas encontradas con tamaño de 0.3um en el grupo filtro y el grupo control.

La media de partículas encontradas con tamaño de 1.0um fue de 1834.07, SD $\pm$ 905.34, mediana 1621.14, rango 648.07-4433.64 (figura 14).

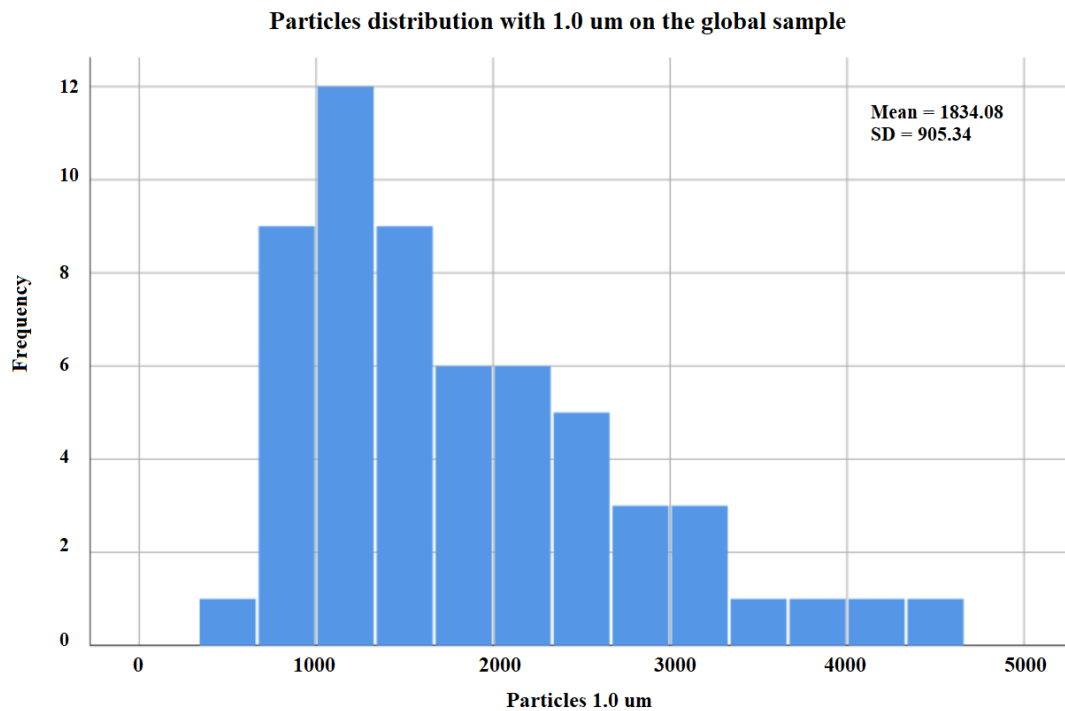


Figura 14. Partículas con tamaño 1.0um en la totalidad de la muestra.

La tabla 12 y la figura 15 muestran el número de partículas encontradas con tamaño de 1.0um en el grupo filtro y el grupo control. Fue menor la cantidad de partículas en el grupo filtro con diferencias significativas ($p=0.027$).

Tabla 12. Número de partículas encontradas con tamaño de 1.0um en el grupo filtro y el grupo control.				
Group	Mean	SD	Median	Range
Filtro	1572.33	788.70	1287.52	648.07-4433.64
Control	2095.82	951.09	1937.04	828.19-4309.35

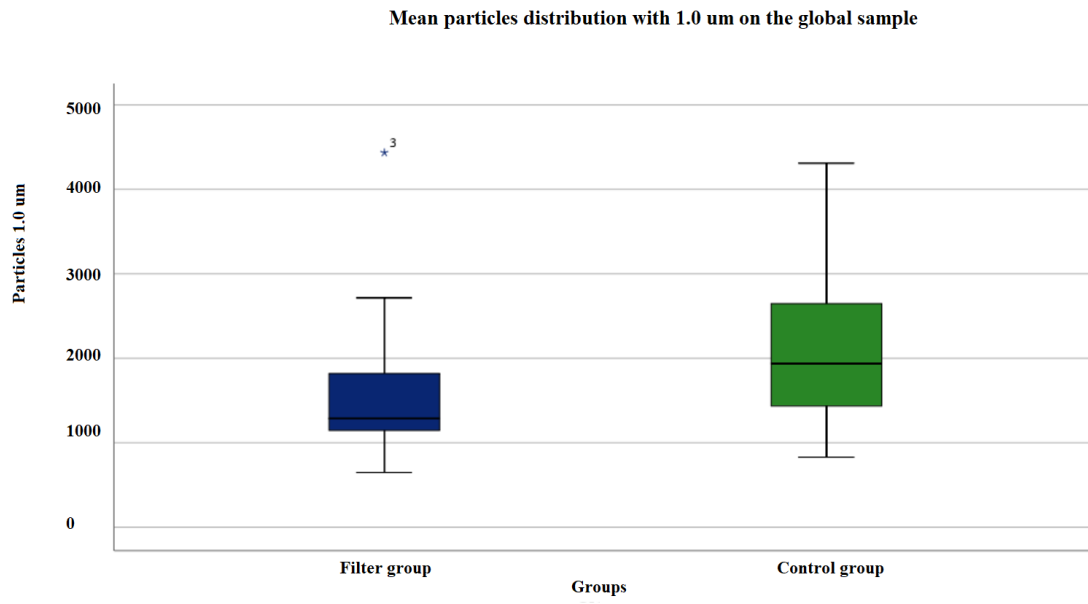


Figura 15. Media del número de partículas encontradas con tamaño de 1.0um en el grupo filtro y el grupo control.

La media de partículas encontradas con tamaño de 2.5um fue 520.19, SD ± 228.59 , mediana 493.83, rango 191.73-1303.79 (figura 16).

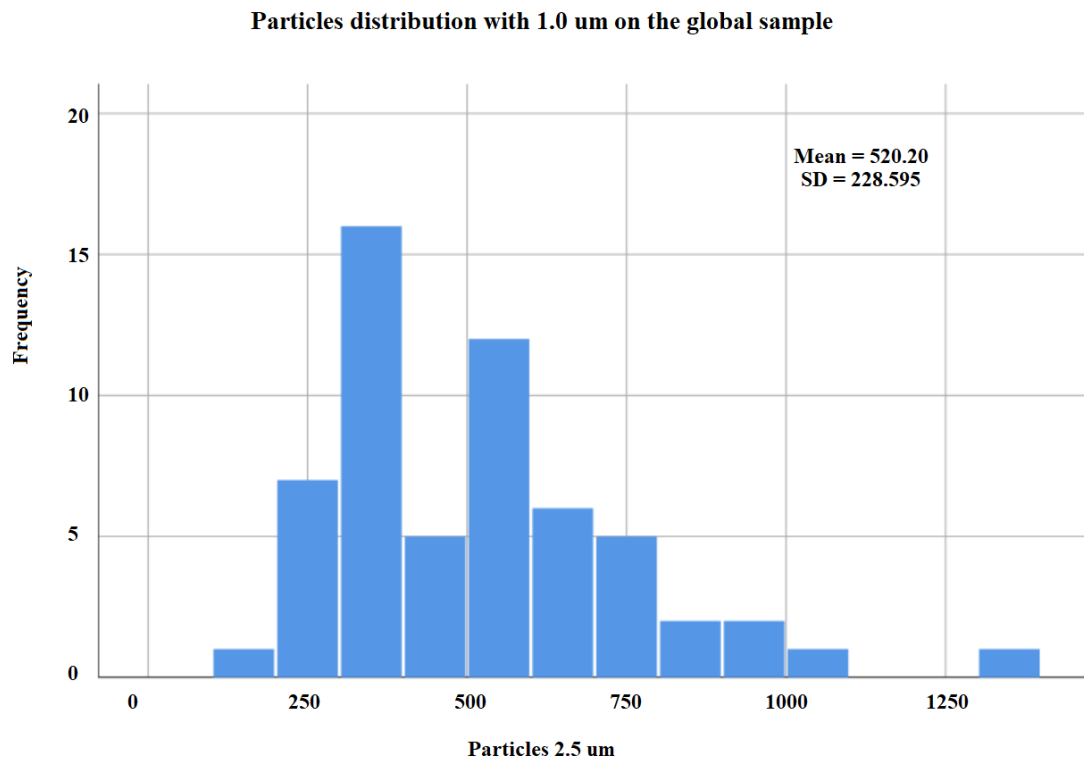


Figura 16. Partículas con tamaño 2.5um en la totalidad de la muestra.

La tabla 13 y la figura 17 muestran el número de partículas encontradas con tamaño de 2.5um en el grupo filtro y el grupo control. Fue menor la cantidad de partículas en el grupo filtro con diferencias significativas ($p=0.025$).

Tabla 13. Número de partículas encontradas con tamaño de 2.5um en el grupo filtro y el grupo control.

Group	Mean	SD	Median	Range
Filtro	460.74	231.55	387.00	191.73-1303.79
Control	579.64	213.16	523.30	262.09-1091.18

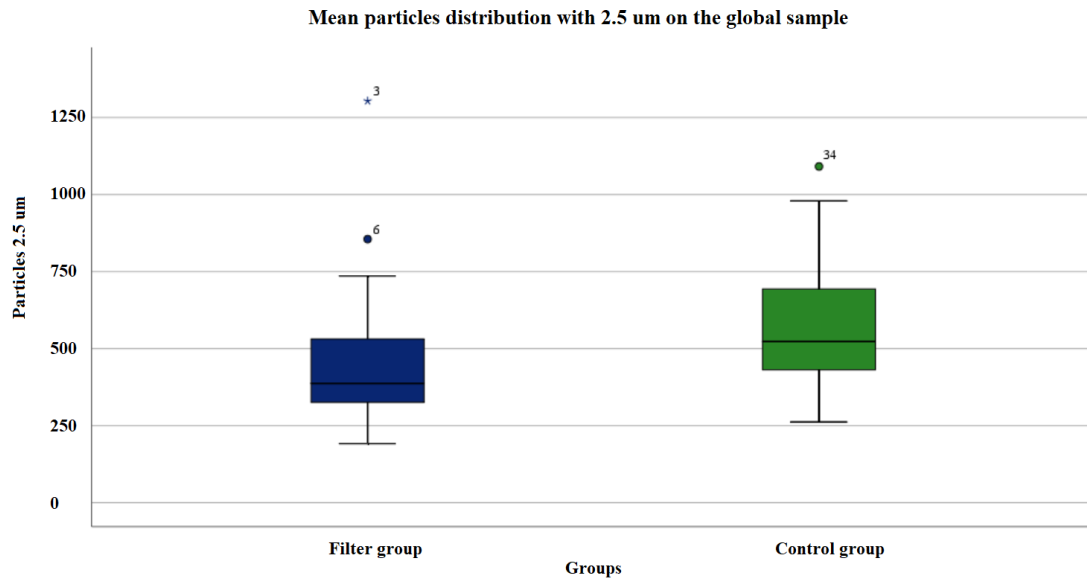


Figura 17. Media del número de partículas encontradas con tamaño de 2.5um en el grupo filtro y el grupo control.

La media de partículas encontradas con tamaño de 5.0um fue 18.42, SD ± 10.17 , mediana 16.56, rango 1.88-52.71 (figura 18).

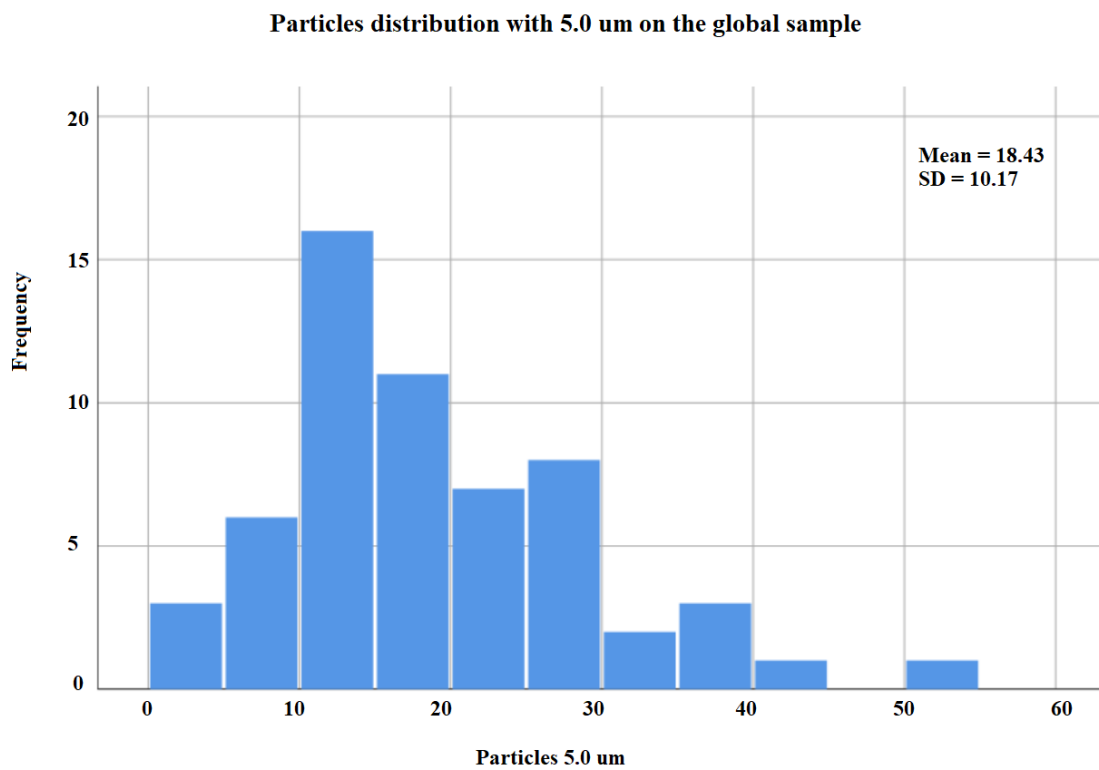


Figura 18. Partículas con tamaño 5.0um en la totalidad de la muestra.

La tabla 14 y la figura 19 muestran el número de partículas encontradas con tamaño de 5.0um en el grupo filtro y el grupo control. Fue menor la cantidad de partículas en el grupo filtro con diferencias significativas ($p=0.026$).

Tabla 14. Número de partículas encontradas con tamaño de 5.0um en el grupo filtro y el grupo control.

Group	Mean	SD	Median	Range
Filtro	16.29	10.65	13.11	4.80-52.71
Control	20.55	9.36	17.82	1.88-41.83

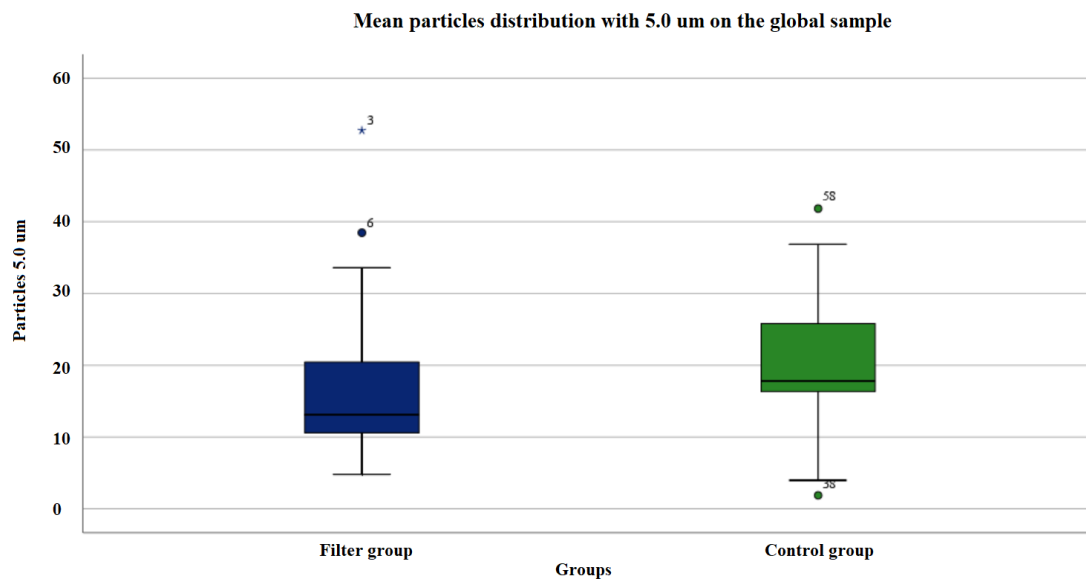


Figura 19. Media del número de partículas encontradas con tamaño de 5.0um en el grupo filtro y el grupo control.

La media de partículas encontradas con tamaño de 10.0um fue de 40.80, SD ± 17.11 , mediana 38.98, rango 16.53-99.21g (figura 20).

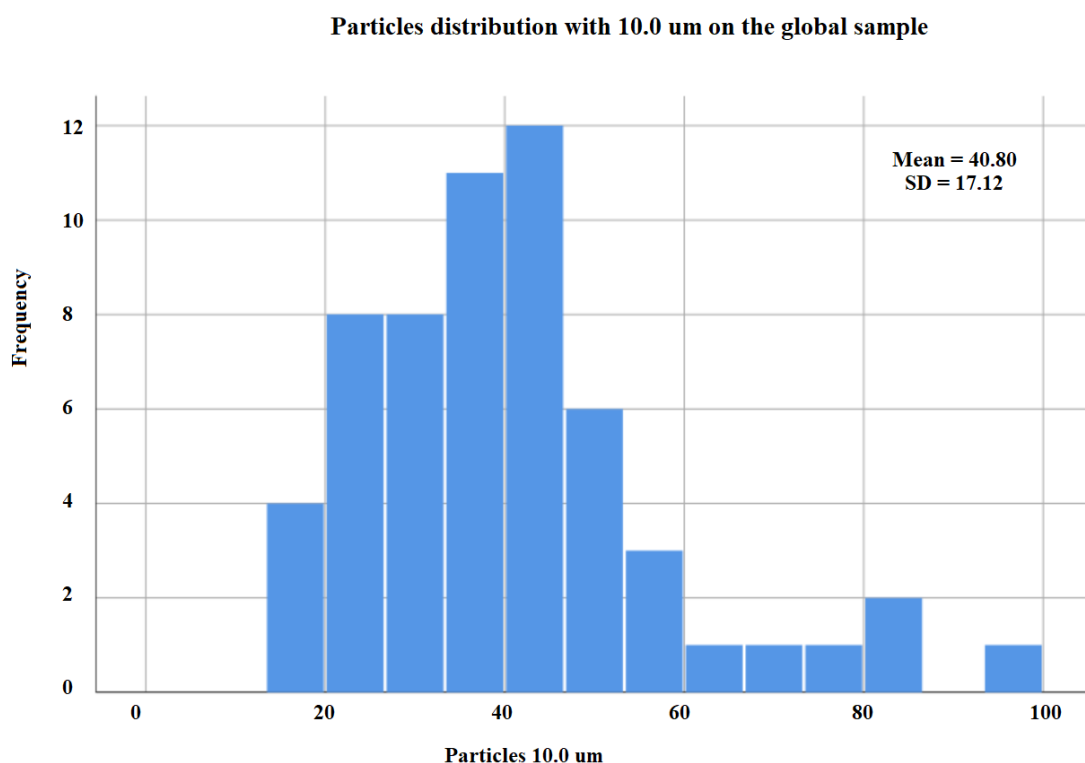


Figura 20. Partículas con tamaño 10.0um en la totalidad de la muestra.

La tabla 15 y la figura 21 muestran el número de partículas encontradas con tamaño de 10.0um en el grupo filtro y el grupo control. No hubo diferencias significativas entre los grupos ($p=0.192$).

Tabla 15. Número de partículas encontradas con tamaño de 10.0um en el grupo filtro y el grupo control.				
Group	Mean	SD	Median	Range
Filtro	37.85	19.09	32.12	16.53-99.21
Control	43.75	14.62	43.04	18.81-83.90g

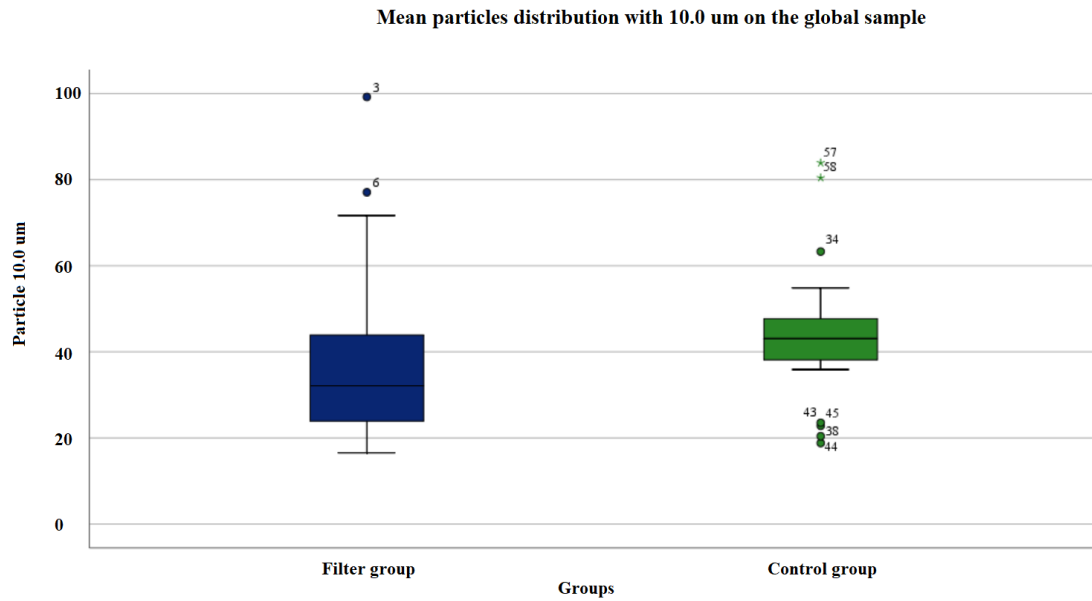


Figura 21. Media del número de partículas encontradas con tamaño de 10.0um en el grupo filtro y el grupo control.

La media de la temperatura fue de 24.89 °C, SD ± 0.97 , mediana 24.93, rango 22.66-27.10 (figura 22).

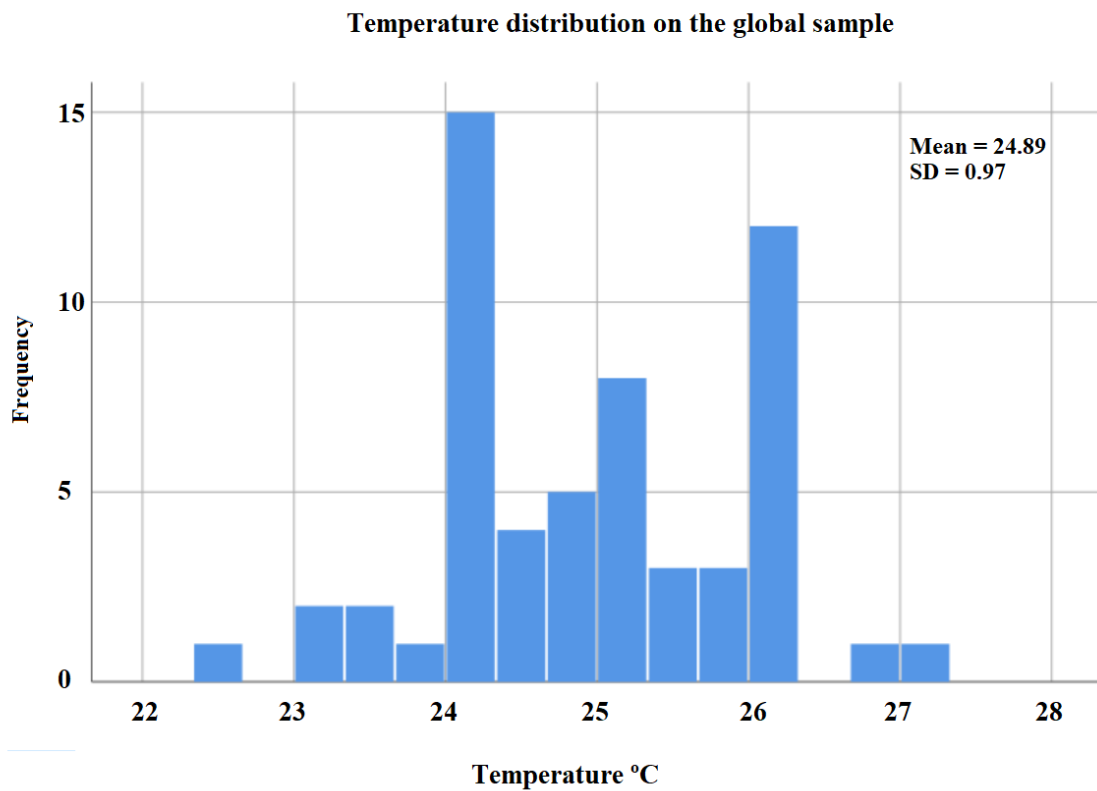


Figura 22. Temperatura en la totalidad de la muestra.

La tabla 16 y la figura 23 muestran la temperatura encontrada en el grupo filtro y el grupo control. No hubo diferencias significativas entre los grupos ($p=0.260$).

Tabla 16. Temperatura en el grupo filtro y el grupo control.

Group	Mean	SD	Median	Range
Filtro	25.01	1.03	25.00	22.66-26.73
Control	24.76	0.92	24.86	23.22-27.10

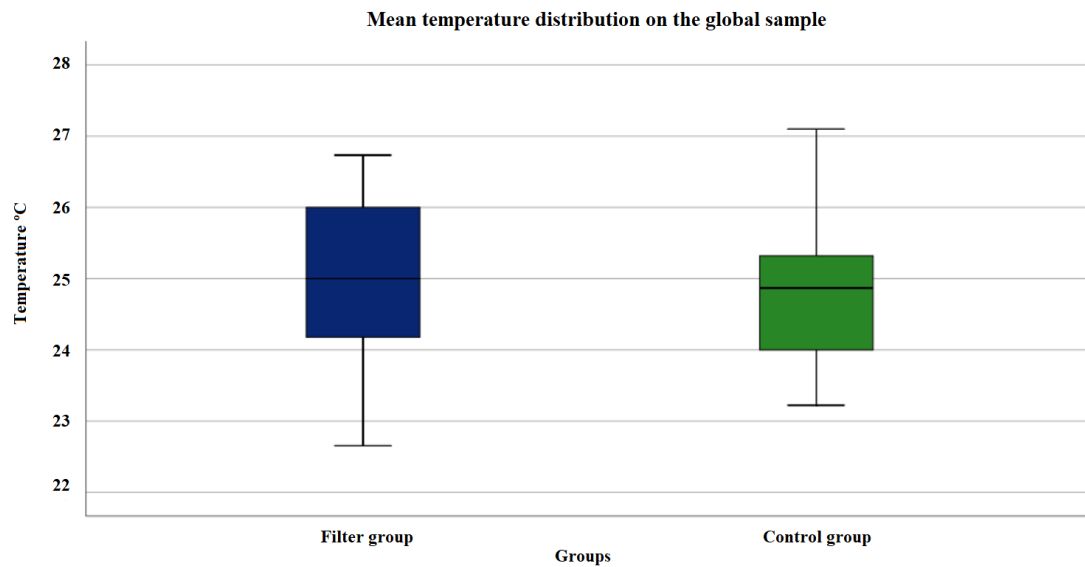


Figura 23. Media de la temperatura en el grupo filtro y el grupo control.

La media de la humedad relativa fue de 34.38 %, SD ± 6.34 , mediana 33.24, rango 22.00-46.00 (figura 24).

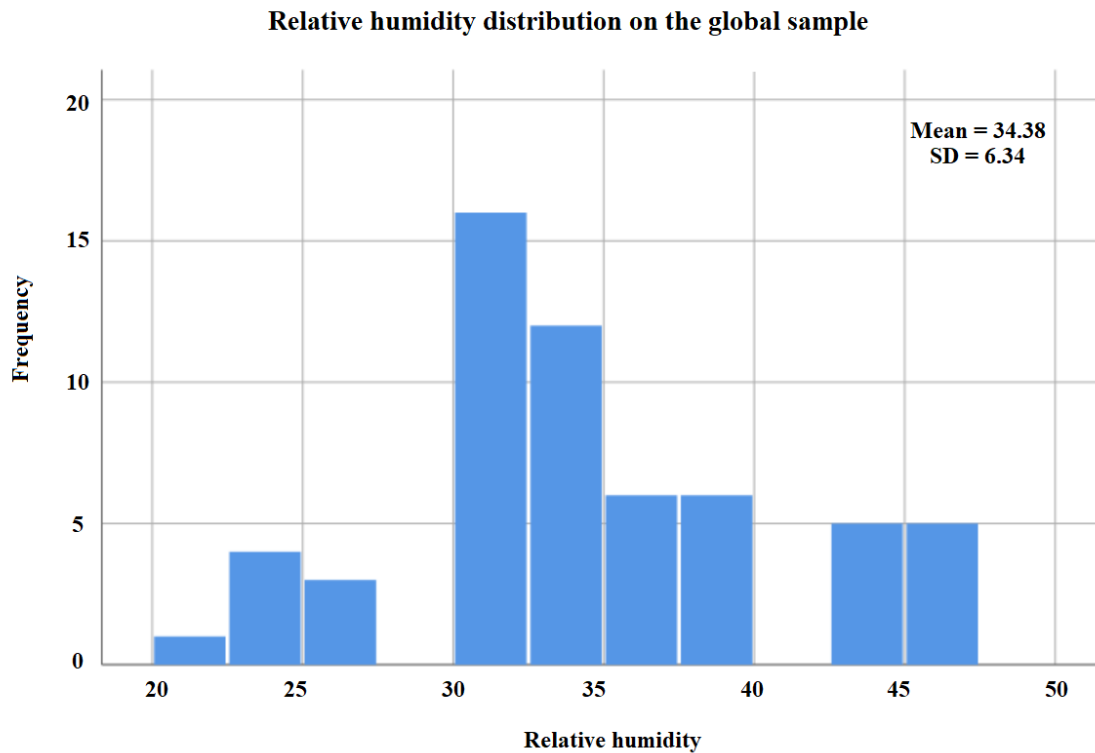


Figura 24. Humedad relativa en la totalidad de la muestra.

La tabla 17 y la figura 25 muestran la humedad relativa encontrada en el grupo filtro y el grupo control. No hubo diferencias significativas entre los grupos ($p=0.191g$).

Tabla 17. Humedad realtiva en el grupo filtro y el grupo control.				
Group	Mean	SD	Median	Range
Filtro	33.27	5.27	33.00	22.50-45.45
Control	35.47	7.18	34.37	22.00-46.00

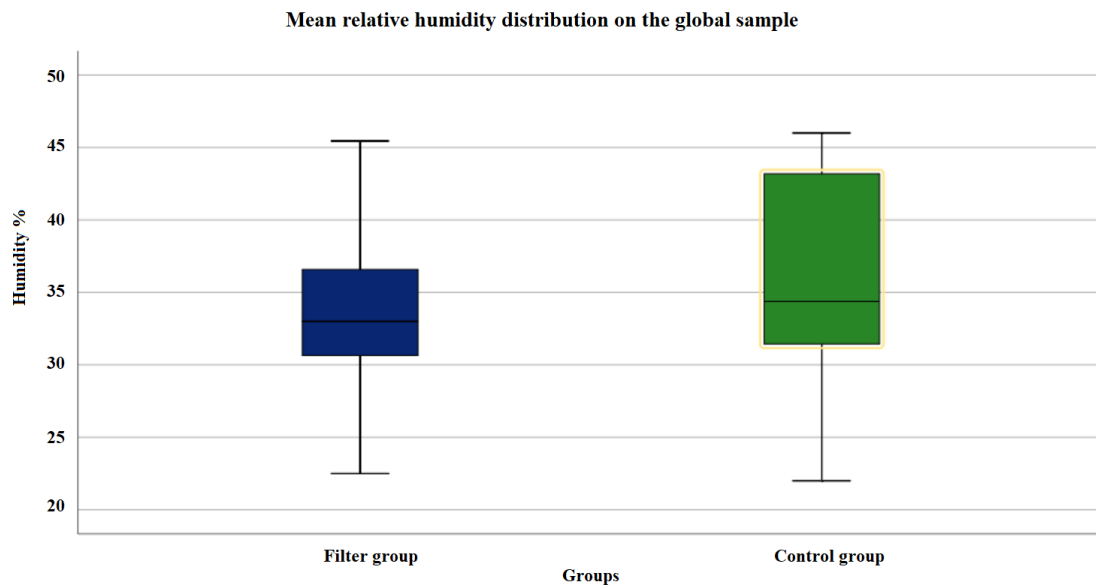


Figura 25. Media de la humedad relativa en el grupo filtro y el grupo control.

La figura 26 muestra la correlación entre el número de partículas encontradas de tamaño 0.3um y el uso de filtros. La tendencia fue negativa, a menor uso de filtros, mayor fue el hallazgo de partículas de 0.3um. Coeficiente de correlación -0.284, $p=0.031$.

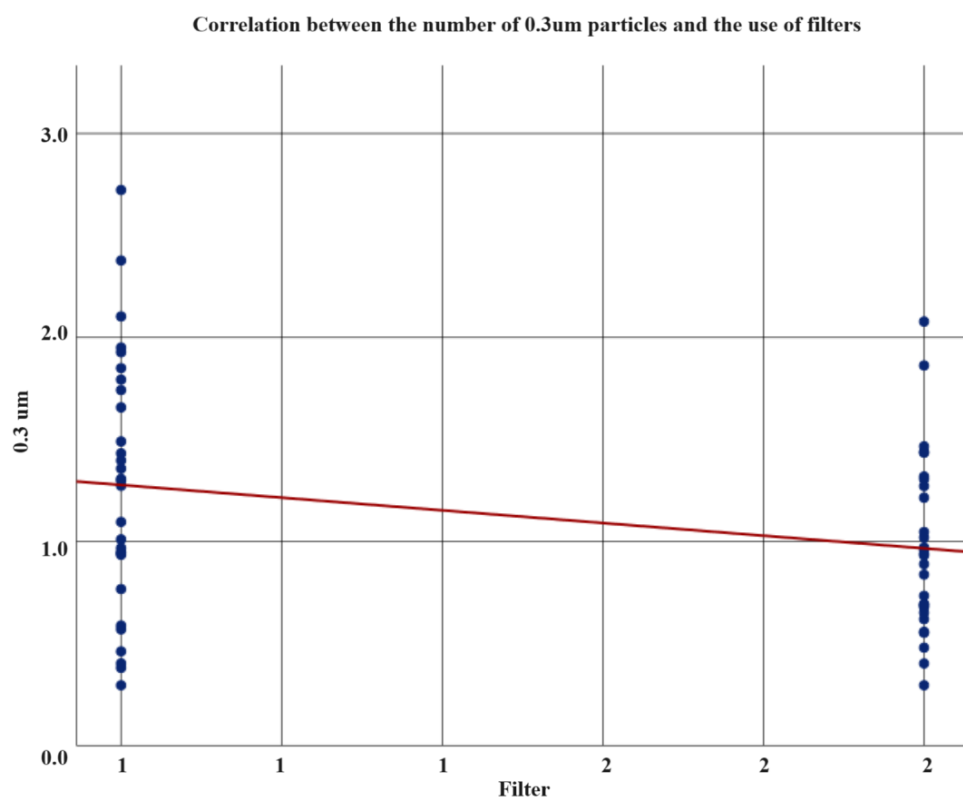


Figura 26. Correlación entre el número de partículas de 0.3um y el uso de filtros.

La figura 27 muestra la correlación entre el número de partículas encontradas de tamaño 0.5um y el uso de filtros. La tendencia fue negativa, a menor uso de filtros, mayor fue el hallazgo de partículas de 0.5um. Coeficiente de correlación -0.296, $p=0.028$

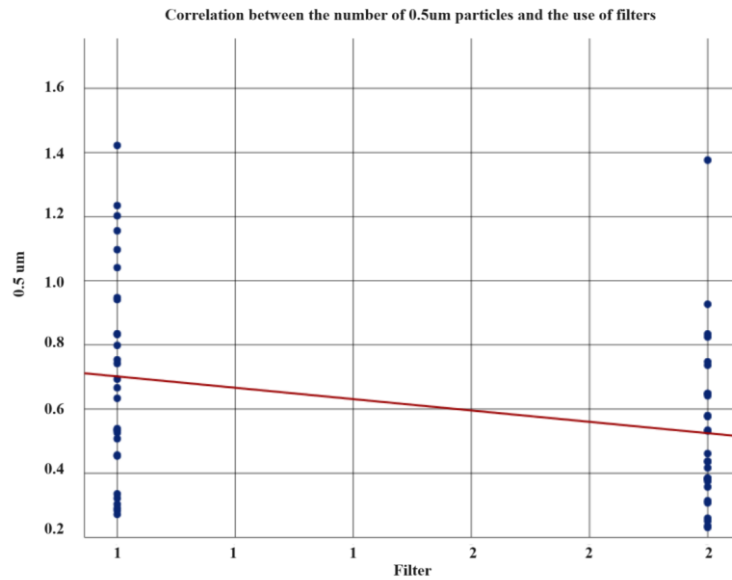


Figura 27. Relación entre el número de partículas de 0.5um y el uso de filtros.

La figura 28 muestra la correlación entre el número de partículas encontradas de tamaño 1.0 um y el uso de filtros. La tendencia fue negativa, a menor uso de filtros, mayor fue el hallazgo de partículas de 1.0 um. Coeficiente de correlación -0.292 $p=0.025$

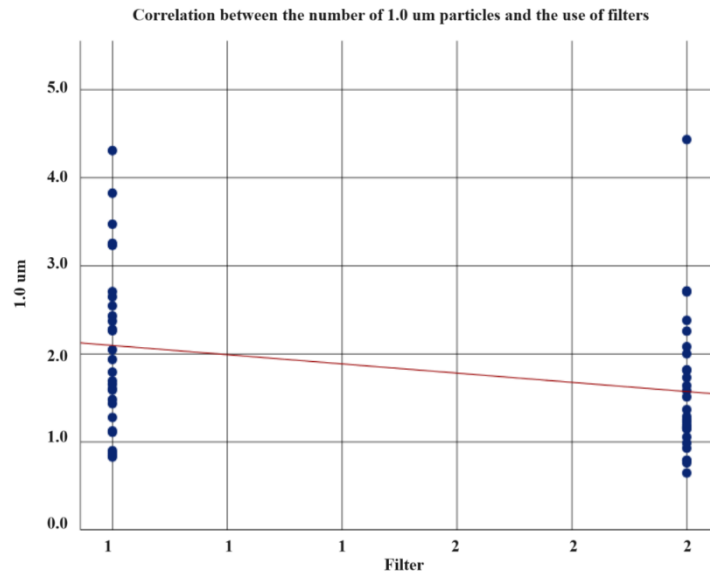


Figura 28. Relación entre el número de partículas de 1.0 um y el uso de filtros.

La figura 29 muestra la correlación entre el número de partículas encontradas de tamaño 2.5um y el uso de filtros. La tendencia fue negativa, a menor uso de filtros, mayor fue el hallazgo de partículas de 2.5 um. Coeficiente de correlación -0.298, $p=0.023$

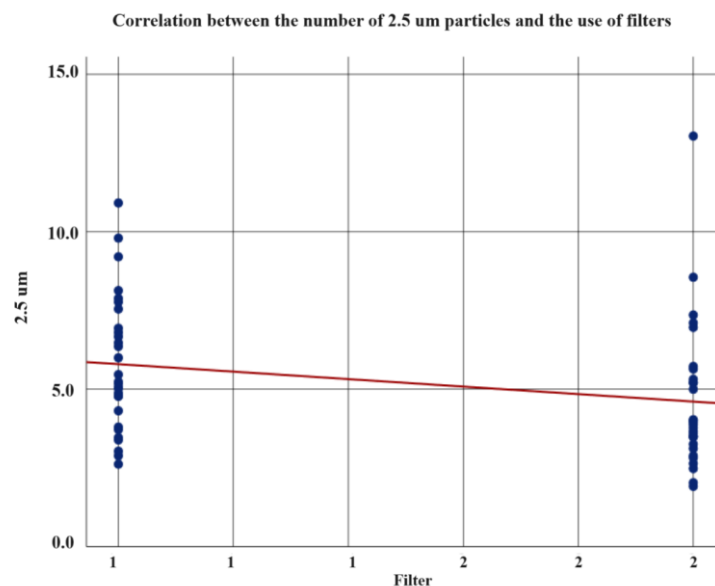


Figura 29. Relación entre el número de partículas de 2.5 um y el uso de filtros.

La figura 30 muestra la correlación entre el número de partículas encontradas de tamaño 0.5 μm y el uso de filtros. La tendencia fue negativa, a menor uso de filtros, mayor fue el hallazgo de partículas de 5.0 μm . Coeficiente de correlación -0.211, $p=0.024$

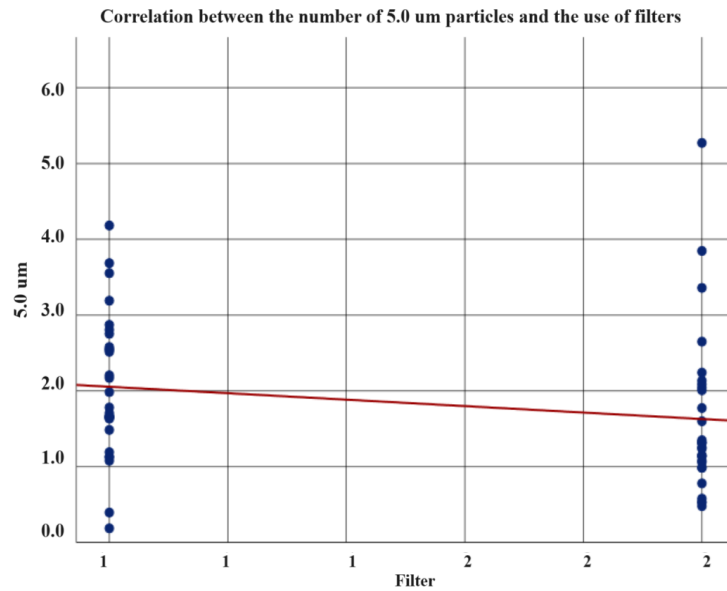


Figura 30. Relación entre el número de partículas de 5.0 μm y el uso de filtros.

La figura 31 muestra la correlación entre el número de partículas encontradas de tamaño 10.0 μm y el uso de filtros. La tendencia fue negativa, a menor uso de filtros, mayor fue el hallazgo de partículas de 10.0 μm . Coeficiente de correlación -0.174, $p=0.028$

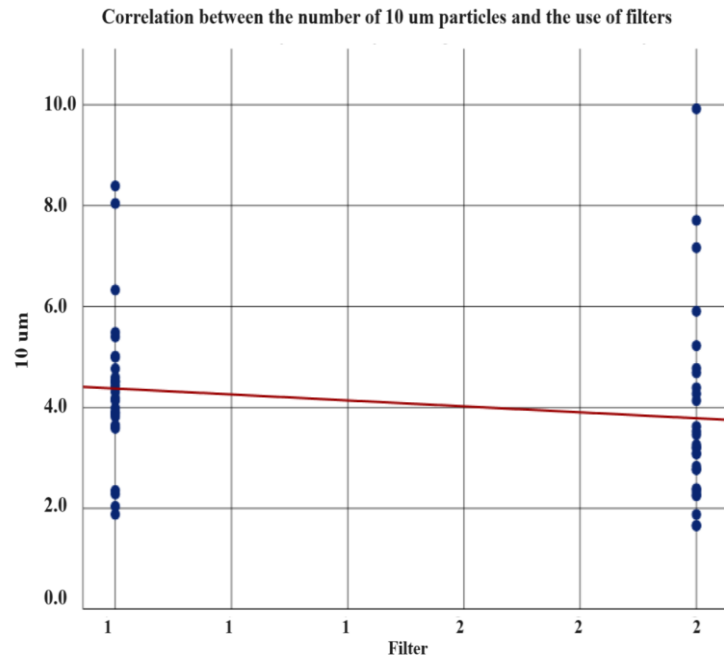


Figura 31. Relación entre el número de partículas de 10.0 um y el uso de filtros.

La figura 32 muestra la correlación entre la temperatura y el uso de filtros. La tendencia fue positiva, a mayor uso de filtros, mayor fue la temperatura. Coeficiente de correlación 0.149, $p=0.26$.

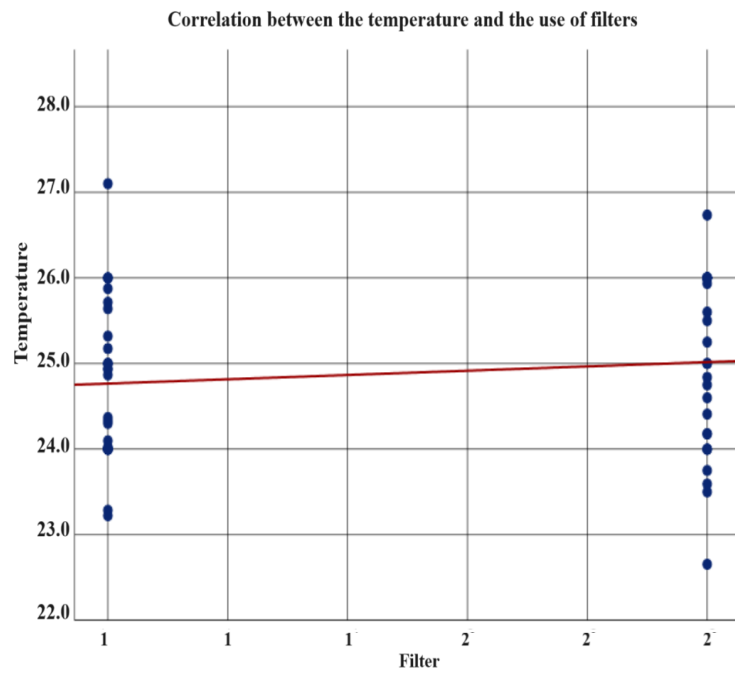


Figura 32. Relación entre la temperatura y el uso de filtros.

La figura 33 muestra la correlación entre la humedad y el uso de filtros. La tendencia fue negativa, a menor uso de filtros, mayor fue la humedad. Coeficiente de correlación -0.170, $p=0.20$.

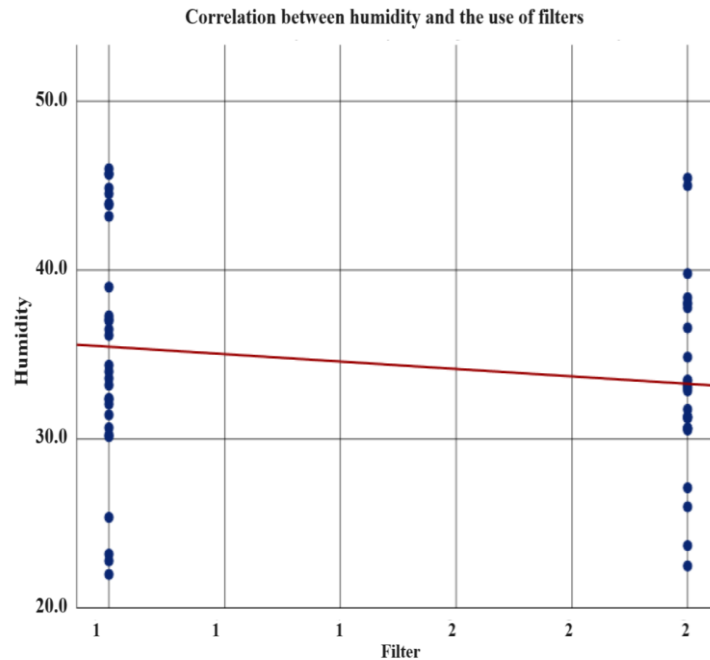


Figura 33. Relación entre la humedad y el uso de filtros.

Se realizó el análisis de regresión logística para analizar si existe relación entre las variables y el uso filtros en la muestra general. Se muestran las variables significativas, siendo predictores (la presencia de estas variables aumenta o disminuyen la probabilidad del uso de filtros), prueba de ómnibus ($p=0.023$), $R^2=5.20$, el modelo de regresión predice que el 68.96 % de uso de filtros y el 51.72 % sin uso de filtros, siendo adecuado el modelo de regresión logística para el análisis.

Variables	Coeficiente Beta	Índice Wald	p-valor	OR: Odd ratio	95.0% IC inferior	95.0% IC superior
Particles 0.3um	0,0001	0,088	0,767	1,000	0,999	1,001
Particles 0.5um	0,001	0,107	0,743	1,001	0,997	1,004
Particles 1.0um	-0,001	4,462	0,035	0,999	0,999	1,000
Particles 2.5um	0,001	0,007	0,933	1,001	0,970	1,034
Particles 5.0um	0,091	0,943	0,332	1,095	0,911	1,316
Particles 10um	-0,004	0,002	0,965	0,996	0,843	1,177
Temperature	0,182	0,235	0,628	1,200	0,575	2,504
Humidity	0,012	0,037	0,848	1,012	0,898	1,139

Tabla 18: Odd Ratio (OR) de las variables estudiadas al 95% del intervalo de confianza

Las siguientes variables se asocian con menor probabilidad uso de filtros:

- -A mayor número de partículas de 0.3, 0.5, 2.5 y 5.0 um, existe 1.0 menor probabilidad de uso del filtro ($p \geq 0.050$).
- -A mayor humedad y temperatura, existe 1.2 menor probabilidad de usar el filtro ($p \geq 0.050$).

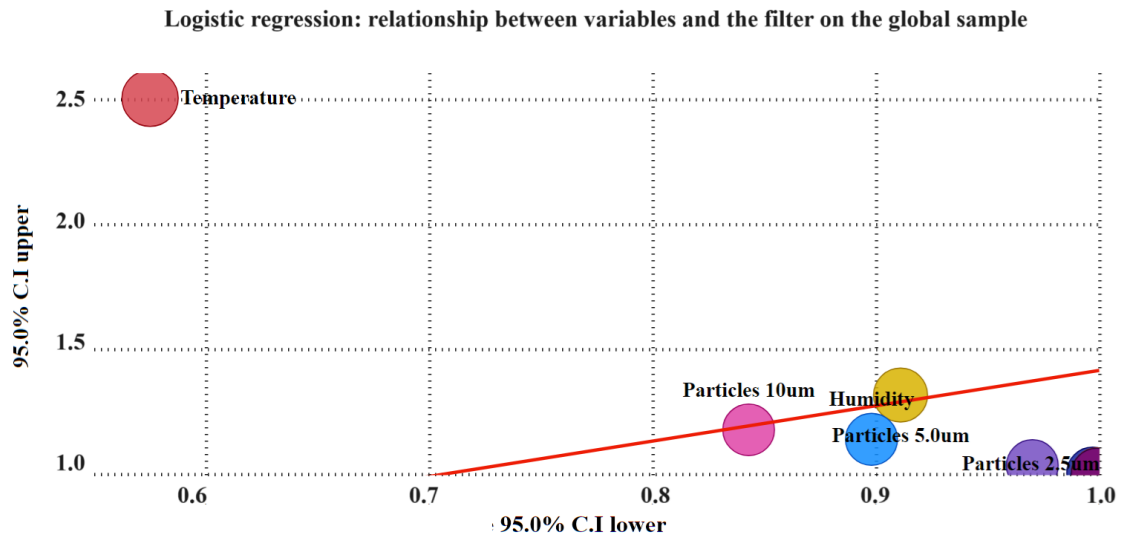


Figura 34. Regresión logística: relación entre variables y filtro

7. DISCUSIÓN

A continuación, en el siguiente apartado de discusión, se procederá a desarrollar un análisis detallado de la evidencia científica y los resultados obtenidos, siguiendo una estructura sistemática y coherente.

Este análisis se organizará en tres partes diferenciadas, cada una de las cuales contribuirá de manera significativa a la construcción del marco interpretativo de los hallazgos experimentales de la tesis.

En la primera parte, se presentará una discusión basada en los artículos previamente incluidos en las tablas de los capítulos anteriores. Estos estudios han sido seleccionados por su relevancia teórica y metodológica, y su análisis permitirá contextualizar los resultados obtenidos en el presente trabajo dentro del contexto general del conocimiento actual. Se prestará especial atención a las similitudes y diferencias entre los enfoques utilizados en estos estudios y los empleados en esta tesis, con el fin de identificar posibles áreas de convergencia o discrepancia.

La segunda parte estará enfocada en la revisión de artículos clave para la primera fase experimental de la investigación. Aquí se destacarán aquellos trabajos que han sido fundamentales para el diseño y desarrollo de los experimentos iniciales. Se discutirán los métodos, técnicas y resultados presentados en estos estudios, así como su aplicabilidad a los objetivos específicos de esta fase de la tesis. Esta revisión crítica permitirá justificar la elección de ciertas metodologías y ofrecer un análisis comparativo respecto a los resultados obtenidos en esta primera etapa experimental.

Finalmente, en la tercera parte, se abordará la discusión de la evidencia científica en relación con la segunda fase de la investigación experimental. En esta sección se integrarán artículos que complementan y expanden los hallazgos obtenidos en la fase final del experimento, explorando temas que guardan relación directa con los objetivos y resultados esperados. Esta parte permitirá profundizar en las implicaciones de los hallazgos obtenidos y establecer conexiones con investigaciones previas, a fin de consolidar la interpretación de los resultados en un contexto más amplio y actual.

De esta manera, el esquema de discusión seguirá una progresión lógica, comenzando con una revisión general de la literatura pertinente, pasando por un análisis específico de los artículos clave para las dos fases experimentales de la tesis, y concluyendo con una integración de la evidencia científica relacionada con la temática central del estudio.

El estudio de la producción de bioaerosoles y partículas durante los procedimientos dentales, particularmente en ortodoncia, ha cobrado una relevancia significativa en los últimos años, especialmente en el contexto de la pandemia de COVID-19. Las partículas generadas durante los procedimientos dentales pueden transportar microorganismos y representar riesgos para la salud de los operadores y los pacientes, lo que ha impulsado numerosas investigaciones sobre los mecanismos de producción de partículas, los factores ambientales que influyen en su dispersión y las estrategias de mitigación que pueden reducir la exposición a estos bioaerosoles. A continuación, se realiza un análisis detallado de la información obtenida de los estudios revisados.^{81,83}

La naturaleza de los procedimientos odontológicos, que a menudo involucran el uso de herramientas de alta velocidad y la generación de aerosoles, hace que el ambiente en las clínicas dentales sea un lugar idóneo para la dispersión de partículas.⁸¹⁸⁴

Estas partículas pueden transportar microorganismos y representar riesgos para la salud tanto de los operadores como de los pacientes, lo que ha impulsado una mayor cantidad de investigaciones enfocadas en comprender mejor los mecanismos de producción de partículas, los factores ambientales que influyen en su dispersión y, lo más importante, las estrategias de mitigación que pueden reducir la exposición a estos bioaerosoles.⁸³⁻⁸⁵

Este tema se ha convertido en un área de creciente interés para la comunidad científica y profesional, dada la necesidad de garantizar entornos más seguros en la práctica clínica dental.⁸³⁻⁸⁵

A continuación, se presenta un análisis más detallado de la información obtenida de los estudios revisados, proporcionando una visión más completa del problema y de las posibles soluciones. Según los estudios de diversas fuentes académicas, las partículas generadas durante los procedimientos ortodóncicos han sido ampliamente documentadas, con especial atención al proceso de eliminación de brackets y la limpieza del esmalte dental.⁸¹⁻⁹⁰

La generación de partículas durante procedimientos ortodóncicos ha sido ampliamente documentada, especialmente en el proceso de eliminación de brackets y la limpieza del esmalte dental tras su remoción. Uno de los estudios clave en este campo, el de Johnston et al., fue pionero al demostrar que el uso de piezas de mano de alta

velocidad junto con la irrigación con agua en la limpieza del esmalte produce las concentraciones más elevadas de partículas. Este descubrimiento destacó la importancia de tomar precauciones adicionales en procedimientos rutinarios que, a primera vista, podrían parecer menos peligrosos.¹²

El análisis de la composición de estas partículas reveló la presencia de elementos como calcio, fósforo, aluminio y silicio, sugiriendo una mezcla de restos tanto del esmalte dental como del material utilizado en el procedimiento clínico, lo que amplía el espectro de riesgos asociados a la exposición a bioaerosoles en la clínica dental. Este descubrimiento destaca la importancia de entender la composición química de las partículas generadas durante los procedimientos odontológicos, ya que la exposición prolongada a ciertos elementos podría tener implicaciones para la salud a largo plazo, no solo del operador, sino también del paciente.¹²

Un hallazgo particularmente relevante en términos de la práctica clínica fue que el uso de mascarillas y la evacuación de alto volumen (HVE) resultó ser eficaz para reducir significativamente la exposición a partículas respirables. Se descubrió que las mascarillas, en combinación con la HVE, reducen la exposición a partículas en hasta un 96%, lo que resalta la necesidad crítica de utilizar siempre protección respiratoria durante estos procedimientos, especialmente considerando el riesgo de exposición a partículas más pequeñas que tienen la capacidad de ingresar profundamente en el sistema respiratorio.¹²

Las partículas más pequeñas, debido a su menor tamaño, representan un mayor riesgo para la salud, ya que pueden llegar a las zonas más profundas del sistema respiratorio, incrementando el potencial de desarrollar afecciones respiratorias graves tanto para los profesionales de la salud como para los pacientes que frecuentan estos entornos.¹² Este descubrimiento subraya aún más la necesidad de medidas preventivas rigurosas, particularmente en un entorno post-pandemia, donde la exposición a aerosoles y partículas sigue siendo una preocupación constante.^{73,78}

Otro aspecto destacado fue el estudio de Ireland et al., que investigó la producción de partículas durante la fabricación de dispositivos ortodóncicos en un laboratorio dental. Los autores observaron niveles de polvo respirable que excedían los límites permitidos por las normativas de control de sustancias peligrosas en estos

entornos de trabajo. Esto pone de manifiesto la necesidad urgente de mejorar las condiciones de trabajo en los laboratorios dentales, un aspecto que a menudo se pasa por alto en comparación con las clínicas. Una recomendación clave fue la mejora de la ventilación en los laboratorios para reducir la exposición a partículas dañinas y mejorar la seguridad de los técnicos que trabajan en estos ambientes de alta exposición a polvo y aerosoles.⁸³

La calidad del aire en los entornos clínicos ha sido un área de investigación activa debido a su impacto directo sobre la salud tanto de los profesionales como de los pacientes. En un estudio realizado por Liu et al., se evaluaron los niveles de compuestos orgánicos volátiles totales (COVT) en diferentes áreas de un departamento dental dentro de un hospital, encontrando que en todos los puntos de muestreo, las concentraciones de COVT excedían los estándares recomendados.⁸⁸

Este hallazgo es especialmente preocupante, ya que los COVT pueden actuar como irritantes para el sistema respiratorio y están asociados con efectos adversos a largo plazo en la salud, lo que convierte a este factor en un tema de suma importancia dentro de las investigaciones sobre bioaerosoles y calidad del aire en entornos odontológicos.⁸⁸

Una observación significativa de este estudio fue que las concentraciones más altas de COVT se encontraron en el departamento de periodoncia, lo que podría estar relacionado con los procedimientos específicos que se realizan en esa área, como la manipulación de tejidos y el uso de materiales dentales que podrían liberar más compuestos orgánicos volátiles.⁸⁸

Además, la alta tasa de detección de bacterias, en particular de bacterias Gram-positivas como *Micrococcus luteus* y *Bacillus cereus* en estas áreas, pone de manifiesto el riesgo de infecciones nosocomiales en las clínicas dentales y resalta la importancia de implementar medidas de control de contaminación ambiental. Estas medidas incluyen la mejora de la ventilación y el uso de filtros de aire, estrategias que, aunque pueden implicar una inversión significativa en equipos y tecnología, son esenciales para garantizar la seguridad tanto de los pacientes como del personal clínico.⁸⁸

Uno de los temas más discutidos durante la pandemia de COVID-19 ha sido la transmisión de patógenos a través de los bioaerosoles generados durante los procedimientos dentales. En este sentido, Singh et al. (2021) llevaron a cabo una

revisión sistemática que abordó los riesgos asociados con los procedimientos generadores de aerosoles (PGA) en ortodoncia. Los autores concluyeron que el riesgo de transmisión de SARS-CoV-2 a través de los bioaerosoles es bajo si se utilizan medidas adecuadas de mitigación, como el uso de aspiradores de orificio ancho y enjuagues bucales preprocedimiento con soluciones antimicrobianas como la povidona yodada.⁸⁹

Este hallazgo proporciona evidencia sólida de que el riesgo de transmisión puede controlarse efectivamente mediante el uso de tecnologías y técnicas específicas diseñadas para minimizar la generación y dispersión de aerosoles peligrosos.⁸⁹

A pesar de que el riesgo de transmisión de patógenos a través de aerosoles generados durante procedimientos dentales puede ser controlado con estas medidas, Singh et al. también recomendaron la implementación de medidas complementarias, como la mejora de la ventilación en las clínicas dentales y el uso de purificadores de aire.⁸⁹

Aunque estas estrategias pueden haber sido adoptadas principalmente en el contexto de la pandemia de COVID-19, su relevancia se extiende más allá de este virus en particular, ya que estas medidas son igualmente eficaces para reducir la exposición a otros patógenos presentes en los bioaerosoles que se generan durante los procedimientos dentales, protegiendo así a los profesionales y pacientes de una amplia gama de infecciones.⁸⁹

En una revisión más reciente, Dabiri et al. abordaron el tema de la aerobiología de los bioaerosoles en entornos dentales, destacando que las partículas generadas durante los procedimientos clínicos varían significativamente en tamaño y concentración, dependiendo de la técnica utilizada. Este estudio subrayó la necesidad de adoptar medidas de control ambiental que incluyan el uso de filtros de aire HEPA, ventiladores portátiles y sistemas de irradiación germicida ultravioleta, como formas eficaces de mejorar la calidad del aire en las clínicas dentales.⁹⁰

Estas medidas pueden ser percibidas como costosas inicialmente, pero su implementación es fundamental para reducir la dispersión de partículas infecciosas, y a largo plazo, son una inversión en la seguridad de la práctica odontológica.⁹⁰

El impacto de las condiciones ambientales en la producción y dispersión de partículas también ha sido un tema de interés en la investigación sobre bioaerosoles en ortodoncia. En nuestra investigación, Martín-Quintero et al. (2021) realizaron un estudio piloto en el que se midieron las concentraciones de partículas en función de variables como la temperatura y la humedad relativa en un entorno clínico durante los procedimientos ortodóncicos.⁹¹

Los resultados mostraron que el número de partículas en el aire era significativamente mayor al inicio del procedimiento en comparación con las mediciones de control, lo que indica que la simple presencia de un paciente en la consulta dental puede aumentar considerablemente la concentración de partículas en el ambiente. Este hallazgo tiene implicaciones importantes para el manejo de la calidad del aire en entornos clínicos y subraya la importancia de monitorear las condiciones ambientales durante los procedimientos ortodóncicos.⁹¹

Uno de los hallazgos más relevantes de este estudio fue la relación exponencial entre la humedad relativa y el número de partículas generadas. Este hallazgo sugiere que en entornos clínicos con alta humedad, la formación de partículas puede ser más elevada, lo que representa un riesgo adicional para la salud. Además, las partículas más pequeñas, aquellas con un tamaño de aproximadamente 0,3 micras, tienen una mayor capacidad de penetrar en las vías respiratorias, lo que incrementa la importancia de controlar estos factores ambientales durante los procedimientos clínicos.⁹¹

El estudio concluyó que es fundamental implementar medidas para reducir la humedad en las clínicas dentales como una forma efectiva de disminuir el riesgo de exposición a estas partículas potencialmente dañinas.⁹¹

El riesgo de transmisión de enfermedades a través de bioaerosoles sigue siendo un tema central en la literatura reciente. Rafiee et al. realizaron un análisis detallado de los aerosoles generados durante diferentes procedimientos dentales, encontrando que la mayoría de las partículas emitidas durante estos procedimientos eran sub-PM1, es decir, partículas con un tamaño inferior a una micra.⁷⁹

Este hallazgo es preocupante, ya que las partículas sub-PM1 tienen un tamaño adecuado para transportar microorganismos como el SARS-CoV-2 y penetrar profundamente en los pulmones, lo que aumenta el riesgo de transmisión de patógenos.⁷⁹

Sin embargo, un descubrimiento positivo de este estudio fue que la microbiota presente en los bioaerosoles era diferente de la encontrada en las muestras de saliva y fluidos nasales de los pacientes, lo que sugiere que el riesgo de transmisión directa de COVID-19 a través de estos bioaerosoles podría ser limitado.⁷⁹

A pesar de esto, el estudio también destacó la eficacia del eyector de saliva de alto volumen como una medida eficaz para reducir la dispersión de bioaerosoles, lo que subraya la importancia de utilizar dispositivos de succión adecuados durante los procedimientos dentales para minimizar la exposición a patógenos peligrosos.⁷⁹

Este hallazgo es particularmente relevante en el contexto de la pandemia, ya que proporciona evidencia adicional de que el control de la aerosolización de fluidos nasales y salivares es una estrategia eficaz para reducir el riesgo de exposición a patógenos tanto para los operadores como para los pacientes en entornos clínicos.⁷⁹

Un enfoque emergente para controlar la dispersión de bioaerosoles en las clínicas dentales es el uso de purificadores de aire. En la segunda fase de la investigación, Martín-Quintero et al. (2024) realizaron un estudio experimental para evaluar la eficacia de un purificador de aire durante los procedimientos ortodóncicos, encontrando una reducción significativa en el número de partículas en todos los tamaños, excepto las más grandes (partículas de 10 μm).⁶⁵

Este estudio es significativo porque demuestra que los purificadores de aire pueden ser una herramienta eficaz para mejorar la calidad del aire en las clínicas dentales, reduciendo así la exposición tanto del paciente como del operador a bioaerosoles potencialmente peligrosos.⁶⁵

Los resultados de este estudio también sugieren una fuerte correlación entre los niveles de humedad y los recuentos de partículas, lo que refuerza la idea de que las condiciones ambientales deben ser cuidadosamente controladas en las clínicas dentales para maximizar la seguridad tanto de los pacientes como del personal clínico.⁶⁵

En este contexto, el uso de purificadores de aire, combinado con otras medidas de mitigación como el uso de mascarillas y la evacuación de alto volumen, ofrece una protección adicional contra la exposición a partículas y bioaerosoles durante la práctica ortodóncica.⁶⁵

Por último, el artículo de Miranda et al. proporciona una visión complementaria al analizar el papel de los bioaerosoles en la transmisión de microorganismos en clínicas dentales. Este estudio resalta que, aunque los microorganismos no siempre están presentes en todos los aerosoles generados durante los procedimientos, la falta de una higiene adecuada en la eliminación de desechos y la limpieza del ambiente de trabajo puede aumentar significativamente los riesgos de transmisión de patógenos.⁸⁰

Por lo tanto, el enfoque microbiológico es fundamental, y la implementación de medidas de desinfección periódica y control de la calidad del aire es esencial para prevenir la propagación de patógenos en estos entornos clínicos.⁸⁰

La evidencia sugiere que, aunque las estrategias tecnológicas como los purificadores de aire y los dispositivos de succión son esenciales, el cumplimiento estricto de los protocolos de higiene y desinfección es igualmente crucial para garantizar la seguridad en la práctica odontológica.⁸⁰

A continuación, se procederá a la segunda parte del presente trabajo, centrada en la fase experimental, cuyo objetivo principal es analizar cómo la práctica de ortodoncia afecta al número de partículas generadas en el entorno clínico. En esta sección, se presentarán y discutirán los resultados obtenidos a partir de los experimentos realizados, los cuales fueron diseñados para cuantificar y caracterizar las partículas emitidas durante los distintos procedimientos ortodóncicos.

El análisis de esta fase experimental se enfocará en evaluar las condiciones específicas en las que se generan las partículas, cómo varía su cantidad y tamaño en función de los diferentes procedimientos, y cuáles son las implicaciones de estos hallazgos en términos de seguridad y control en entornos clínicos. La interpretación de estos resultados será comparada con estudios previos, para establecer una base científica sólida que permita comprender el impacto de la práctica ortodóncica en la emisión de partículas.

Esta segunda parte constituye un componente fundamental de la investigación, ya que los resultados obtenidos no solo proporcionan datos cuantitativos relevantes, sino que también permiten evaluar posibles riesgos o efectos que la liberación de estas partículas pueda tener, tanto para los pacientes como para los profesionales de la salud. Por tanto, este apartado permitirá vincular los hallazgos experimentales con la literatura

existente, aportando nuevas perspectivas sobre el manejo y control de partículas en ortodoncia.

En el presente estudio se ha llevado a cabo una exhaustiva medición de la concentración de aerosoles durante procedimientos rutinarios en citas de ortodoncia, con el objetivo de analizar detalladamente cómo el número de partículas generadas puede influir en el riesgo de transmisión de virus, especialmente en un entorno tan crítico como el de la salud dental, donde la seguridad tanto de los profesionales como de los pacientes es una prioridad.

El riesgo de transmisión del virus en estos espacios depende directamente de la cantidad de partículas presentes en el ambiente, así como de sus propiedades físicas y químicas, lo que resalta la necesidad de implementar medidas preventivas específicas.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se observó un notable aumento en el número de partículas en el aire, especialmente de las más pequeñas, desde el momento de control, cuando la sala estaba vacía, hasta el momento en que se iniciaron los tratamientos. Curiosamente, este incremento de partículas se produjo incluso antes de utilizar cualquier dispositivo generador de aerosoles, lo que sugiere que la presencia tanto del operador como del paciente contribuyó de manera involuntaria a este aumento.

Este hallazgo es de gran relevancia, ya que indica que no todas las partículas presentes en el ambiente son generadas directamente por el tratamiento, sino que algunas podrían ser producto de procesos fisiológicos como la respiración. Esta variación, que superó el 300% en la cantidad de partículas, plantea interrogantes importantes sobre si estas partículas, aunque no generadas durante los procedimientos dentales, pueden tener una implicación infecciosa.⁹²

El hecho de que ciertas partículas en el aire puedan ser el resultado de la respiración tanto del paciente como del profesional dental, abre la posibilidad de que algunas de ellas, aunque de tamaño diminuto, puedan ser potencialmente infecciosas. En este sentido, la temperatura y la humedad relativa juegan un papel crucial en la modulación del número y tamaño de las partículas generadas, y por tanto, en su posible capacidad para transmitir enfermedades.⁹²

Durante los procedimientos en sí, en los cuales se utilizaron dispositivos que pueden generar aerosoles, como la jeringa de aire y agua o el micromotor sin irrigación, se observó un aumento significativo en la concentración de partículas. No obstante, estas partículas generadas durante el tratamiento tienen una característica diferenciadora: la posibilidad de haber estado en contacto con partículas infecciosas provenientes de la saliva o las vías respiratorias del paciente. En odontología, se reconoce desde hace años la importancia de controlar los aerosoles como una medida crucial para prevenir infecciones cruzadas tanto entre los pacientes como entre el personal sanitario.⁹³

Sin embargo, gran parte de los estudios previos se han enfocado en procedimientos restauradores y de cirugía dental, dejando un vacío importante en la investigación relacionada con la ortodoncia y otras especialidades. Uno de los desafíos más grandes que presenta la investigación sobre aerosoles en el campo de la odontología es que muchos de los estudios previos se han centrado en su potencial como transmisores de bacterias, pero no han examinado en profundidad su capacidad para transmitir patógenos virales, posiblemente debido a las dificultades técnicas que esto conlleva.^{94,95}

A pesar de que los tratamientos de ortodoncia suelen considerarse menos riesgosos en términos de exposición a infecciones para los profesionales, la pandemia de COVID-19 ha reabierto este debate, generando nuevas preguntas sobre las vías de transmisión del virus y la seguridad de los ortodoncistas.⁹⁶

Durante las primeras fases de la pandemia, el Departamento de Trabajo de los Estados Unidos clasificó a los odontólogos generales, y especialmente a los cirujanos orales y maxilofaciales, como profesionales de alto riesgo debido a su constante exposición a aerosoles generados durante los procedimientos. Sin embargo, los ortodoncistas no fueron incluidos en las primeras listas de profesionales de alto riesgo según esa clasificación.⁹⁷

No obstante, es importante recordar que los ortodoncistas tuvieron que seguir atendiendo a pacientes en tratamiento durante la pandemia, ya que estos procedimientos no podían posponerse indefinidamente, lo que aumentó considerablemente el riesgo de

contagio en una época en la que se desconocían muchas de las vías de transmisión del virus y había una marcada escasez de equipos de protección individual adecuados.⁹⁷

Uno de los hallazgos más relevantes de este estudio fue la observación de que el aumento de la temperatura en el entorno parece correlacionarse con una disminución en el tamaño de las partículas generadas, probablemente debido a la deshidratación de las partículas de mayor tamaño. Este hecho es significativo, ya que el tamaño de las partículas tiene un papel importante en la posible transmisión del SARS-CoV-2, cuyo tamaño oscila entre los 60 y 140 nanómetros.^{98,99}

Esto sugiere que las partículas más pequeñas, capaces de permanecer en suspensión durante largos periodos, podrían representar un riesgo más significativo en la transmisión aérea del virus que las partículas de mayor tamaño, que suelen depositarse más rápidamente.^{98,99}

Estudios recientes han encontrado que la saliva de los pacientes con COVID-19, incluso en los casos asintomáticos, contiene altas concentraciones de carga viral, lo que refuerza la idea de que las partículas de menor tamaño podrían jugar un papel crucial en la transmisión del virus, dado que estas pueden permanecer en el aire durante periodos prolongados.²⁰ Se ha estimado que las partículas de más de 10 micras solo permanecen en suspensión durante unos 30 segundos, mientras que las de menor tamaño pueden flotar en el aire durante horas, lo que plantea preocupaciones sobre la posibilidad de contagio a través de aerosoles.⁹⁵

En cuanto al impacto de las condiciones climáticas, como la temperatura y la humedad, en la propagación del virus, el estudio se llevó a cabo entre los meses de septiembre y diciembre, un periodo que abarcó cambios significativos en la humedad relativa tanto exterior como interior. Este hecho subraya la importancia de correlacionar las condiciones climáticas con la dispersión de partículas y su posible influencia en la transmisión viral.⁹²

La relación entre la humedad relativa y la temperatura en la supervivencia del virus en aerosoles ha sido objeto de debate durante décadas, con estudios que sugieren que un aumento de la humedad en interiores podría reducir la supervivencia viral. Sin embargo, simulaciones más recientes sugieren que los virus pueden sobrevivir mejor en

ambientes con alta humedad relativa, lo que plantea la necesidad de seguir investigando este aspecto.¹⁰⁰

Por último, las conclusiones extraídas de este estudio piloto subrayan la importancia de implementar medidas adicionales de protección en los consultorios dentales durante la pandemia, especialmente en lo que respecta a la calidad del aire interior. Las partículas generadas tanto antes como durante los procedimientos dentales pueden representar un riesgo significativo para la salud, y el control ambiental mediante el ajuste de la climatización podría ser una medida eficaz para reducir el riesgo de transmisión viral. Se necesitan estudios adicionales para explorar más a fondo estas hipótesis y para desarrollar protocolos más efectivos que ayuden a mantener un entorno seguro tanto para los profesionales como para los pacientes.

En resumen, el estudio demuestra la necesidad de continuar investigando el impacto de las variables ambientales y las tecnologías de purificación de aire en la reducción de la transmisión aérea del SARS-CoV-2, especialmente en espacios cerrados como las clínicas dentales

En esta tercera parte del trabajo se enfoca en la implementación y evaluación de un contador de partículas y el uso de un filtro HEPA durante la práctica clínica de ortodoncia. Esta sección tiene como objetivo principal analizar cómo el empleo de tecnologías de filtración de aire, como los filtros HEPA, influye en la reducción del número de partículas emitidas durante los procedimientos ortodóncicos.

El uso de un contador de partículas permite obtener mediciones precisas en tiempo real, lo que proporciona una base sólida para evaluar la efectividad del filtro HEPA en la captura de partículas en suspensión. En este contexto, se analizarán los resultados obtenidos tanto en entornos con el filtro activo como sin él, para establecer una comparación clara que permita valorar su capacidad para mejorar la calidad del aire en la clínica.

Además de proporcionar datos cuantitativos sobre la reducción de partículas, esta sección discutirá las implicaciones de estos resultados en términos de seguridad, salud ocupacional y control de infecciones en el entorno clínico. El uso de filtros HEPA se ha propuesto como una medida de mitigación importante en diversas áreas médicas, y

en este trabajo se examinará su aplicabilidad y eficiencia dentro de la práctica ortodóncica, ofreciendo una perspectiva integral sobre su uso.

Por lo tanto, esta tercera parte del estudio es clave para entender cómo las medidas de control ambiental pueden influir en la práctica clínica, contribuyendo no solo a la mejora de las condiciones de trabajo, sino también a la protección de la salud tanto de los profesionales como de los pacientes.

La pandemia de COVID-19 ha puesto de relieve la importancia crucial de la calidad del aire en espacios interiores, especialmente en entornos de atención médica como las clínicas dentales. La propagación de enfermedades transmitidas por el aire, como el COVID-19, ha subrayado la necesidad urgente de implementar medidas eficaces para reducir la contaminación en espacios cerrados.³⁷

Esto es particularmente relevante en el contexto de las clínicas dentales, donde se generan aerosoles durante los procedimientos, los cuales pueden actuar como vectores de transmisión de patógenos. Por tanto, el control de la calidad del aire en estas instalaciones ha adquirido una relevancia aún mayor, tanto para la seguridad de los pacientes como para la de los profesionales de la salud.³⁷

Este estudio se propuso evaluar el impacto del uso de filtros de aire y dispositivos de barrido extraoral (EOS, por sus siglas en inglés) sobre las concentraciones de partículas durante las sesiones diarias de ortodoncia. Entender la relación entre la temperatura, la humedad y la concentración de partículas es vital, ya que estos factores pueden influir directamente en la calidad del ambiente interior y en la posible transmisión de patógenos, una preocupación latente en la práctica odontológica.^{37,101}

El presente estudio se centró en medir la cantidad de material particulado en el consultorio dental durante las sesiones diarias de ortodoncia, con y sin el uso de un filtro de aire. Los datos obtenidos de ambos grupos, el de estudio (con filtro de aire) y el grupo de control (sin filtro), se registraron el mismo día para evitar variaciones significativas en las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad relativa.^{38,91}

Este enfoque fue esencial para garantizar la precisión en la comparación de los datos entre ambos grupos, dado que estudios previos han demostrado que la temperatura

afecta directamente la humedad y, a su vez, la humedad tiene un impacto significativo en la concentración de partículas más grandes en el aire.^{38,91}

La presencia de partículas más grandes en el ambiente interior reduce considerablemente la calidad del aire y, por lo tanto, aumenta la transmisibilidad de los virus y su tasa de supervivencia en el ambiente. Estos hallazgos son particularmente preocupantes en un entorno donde los profesionales y pacientes están expuestos a aerosoles generados durante procedimientos odontológicos.¹⁰²

Los resultados obtenidos confirmaron una correlación clara entre niveles más altos de temperatura y niveles más bajos de humedad relativa. A medida que la humedad relativa disminuía, se observó una reducción notable en la concentración de partículas de diversos tamaños. Esto sugiere que mantener niveles óptimos de humedad podría ser un factor crucial para mejorar la calidad del aire y reducir la exposición a partículas potencialmente peligrosas.^{91,102}

La revisión sistemática realizada por Mecenaz P et al., que evaluó 517 artículos, indicó que la transmisión del COVID-19 parece ser más favorable en climas cálidos y húmedos. Sin embargo, este estudio subrayó que la calidad de la evidencia era baja debido a la inconsistencia y la heterogeneidad de los estudios disponibles.³⁸

Esto resalta la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor las interacciones entre el ambiente y la propagación de patógenos en el aire. En este estudio, los datos recolectados de los dos grupos de investigación (con y sin el uso del filtro de aire) permitieron evaluar la efectividad de los filtros en la reducción de la concentración de partículas. Se observó una disminución significativa en las partículas más pequeñas cuando se utilizaba el filtro de aire, lo que sugiere que estos dispositivos pueden ser una herramienta útil en la mitigación de riesgos en espacios cerrados, como los consultorios odontológicos.³⁸

Los hallazgos de Mecenaz et al. proporcionan más evidencia de que la temperatura y la humedad juegan un papel crítico en la transmisión de enfermedades como el COVID-19, aunque se requiere más investigación debido a la variabilidad en los resultados de estudios anteriores.³⁸

Desde la pandemia de SARS-CoV-2, la calidad del aire en interiores ha captado una atención creciente en la comunidad científica. El control de las condiciones

ambientales en los espacios cerrados se ha convertido en una preocupación prioritaria no solo para los profesionales de la salud, sino también para los pacientes que buscan atención en estas instalaciones.^{96,103}

En la odontología, la transmisión de enfermedades por aerosoles ha despertado nuevas discusiones sobre los riesgos que enfrentan los dentistas, quienes tradicionalmente no estaban tan expuestos a estos peligros en comparación con otras áreas médicas. Aunque la ortodoncia ha sido considerada una especialidad de bajo riesgo debido a la mínima exposición a fluidos corporales, la pandemia ha resaltado el peligro inherente a los aerosoles que se generan durante procedimientos dentales.^{96,103}

El uso de instrumental dental genera aerosoles que pueden representar un riesgo significativo para los profesionales de la salud y los pacientes, ya que actúan como vehículos para la transmisión de patógenos, incluido el SARS-CoV-2.¹⁰³

Como resultado, el control de aerosoles en los consultorios dentales ha emergido como una preocupación de primera línea en el ámbito de la odontología durante la pandemia. Una de las estrategias más discutidas para controlar estos aerosoles es el uso de dispositivos de barrido extraoral (EOS). Sin embargo, su implementación y efectividad en el entorno dental siguen siendo objeto de debate en la literatura científica. Aunque algunos estudios han señalado su eficacia para reducir los aerosoles, otros han resaltado la necesidad de más investigaciones para establecer protocolos estandarizados y mejorar la práctica dental en términos de seguridad.^{56,,61,69}

El estudio de Yang M et al. concluyó que el aumento en los niveles de aerosoles de menos de 10 µm fue mínimo cuando se utilizaron eyectores de saliva y sistemas de succión de alta velocidad durante los procedimientos dentales. Estos hallazgos son importantes, ya que indican que las medidas de control actualmente disponibles pueden ser efectivas para mitigar la propagación de aerosoles peligrosos en el consultorio dental.⁶¹

Los filtros de aire también han emergido como una solución viable para mejorar la calidad del aire y reducir la transmisión aérea de patógenos en entornos dentales y otros espacios interiores. En un estudio de Duill et al., se evaluó el impacto de los purificadores de aire con filtros HEPA en la reducción de bioaerosoles en entornos escolares, mostrando resultados positivos en cuanto a la disminución de la carga de patógenos en el aire.¹⁰⁴

Sin embargo, otros estudios han señalado que muchos filtros de aire no eliminan de manera efectiva los aerosoles respiratorios, destacando la importancia de utilizar filtros de alta eficiencia (HEPA) y asegurarse de reemplazarlos regularmente para garantizar su efectividad.¹⁰⁵

Los estudios experimentales existentes en la literatura coinciden en que los purificadores de aire con filtros HEPA tienen un gran potencial para descontaminar el aire y reducir la carga de patógenos. En muchos casos, se recomienda dejar las habitaciones cerradas durante un breve periodo después de un procedimiento generador de aerosoles, pero el uso de un purificador HEPA puede acortar este tiempo significativamente, mejorando la eficiencia en el manejo de la clínica dental.⁷⁰

Un estudio realizado por Lednický et al. evaluó la capacidad de los filtros HEPA para capturar partículas virales del SARS-CoV-2 en un entorno de laboratorio simulado, encontrando que estos filtros eran altamente efectivos en la eliminación de partículas virales, lo que respalda su uso en espacios interiores como una medida de prevención contra la transmisión de patógenos.¹⁰⁶

Asimismo, Allen et al. evaluaron la efectividad de los filtros HEPA para reducir material particulado fino (PM_{2.5}) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en ambientes residenciales, concluyendo que estos filtros mejoran significativamente la calidad del aire y, por ende, pueden tener un impacto positivo en la salud respiratoria de los ocupantes.¹⁰⁷

De manera similar, la revisión sistemática de Liu et al. destacó la efectividad de los purificadores portátiles HEPA para eliminar partículas virales en interiores, aunque recomendó su uso en combinación con otras medidas preventivas, como el distanciamiento y la ventilación, para maximizar su efectividad.¹⁰⁸

El uso de purificadores de aire y buena ventilación en las clínicas dentales ha demostrado ser eficaz para reducir la concentración de partículas en el aire. Tzoutzas et al. observaron una notable disminución en los niveles de partículas de 2.5 µm en una clínica dental universitaria cuando se utilizaron estas medidas durante las actividades dentales rutinarias.⁴⁴

Este hallazgo subraya la importancia de adoptar estrategias integrales para mejorar la calidad del aire, especialmente en espacios donde los procedimientos dentales generan aerosoles en grandes cantidades.⁴⁴

Si bien no se comprenden completamente las características epidemiológicas del SARS-CoV-2, se ha observado que su propagación es más intensa en condiciones invernales, lo que sugiere que la temperatura y la humedad juegan un papel importante en su transmisión. Elsaid et al. recomendaron mantener una temperatura ambiente de 25-27°C y, en algunos casos, reemplazar los filtros HEPA por filtros de nanofibras o electrostáticos en los sistemas de aire acondicionado centrales para mejorar la eficiencia en la purificación del aire.¹⁰⁹

Fenelly et al. también destacaron que la evacuación de alto volumen y la ventilación local adecuadamente colocada pueden ser herramientas eficaces para evitar la propagación de aerosoles y partículas inhalables durante los procedimientos dentales.⁷⁸

En este sentido, los consultorios dentales deben implementar controles de aerosoles rigurosos para garantizar la seguridad de sus profesionales y pacientes. Aunque el uso de EOS y succión de alta velocidad ha demostrado reducir la dispersión de aerosoles, la literatura aún debate su aplicación óptima.^{44,91,102,105}

8. CONCLUSIONES

1. Se evidencia un número más elevado de la concentración de partículas de diferentes tamaños en comparación con el grupo control en la clínica dental, sin presencia de profesionales ni pacientes.

2.1 En la clínica dental y en la práctica de ortodoncia, se pueden aplicar medidas preventivas como el uso de mascarillas, aspiración continua, doble aspiración, uso de filtros HEPA y control ambiental de temperatura y humedad relativa.

2.2 La relación entre la humedad relativa y la temperatura con la concentración de partículas es significativa; a mayor humedad relativa, mayor concentración de partículas, y a mayor temperatura, menor número de partículas.

Son necesarios más estudios e investigaciones al respecto.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Ann Occup Hyg.* 2003;47(3):187-200. doi: 10.1093/annhyg/meg032.
2. Kim KH, Kabir E, Jahan SA. Airborne bioaerosols and their impact on human health. *J Environ Sci.* 2018;67:23-35. doi: 10.1016/j.jes.2017.08.027.
3. Gollakota ARK, Gautam S, Santosh M, Gandhi R, Sam V, Shu C. Bioaerosols: Characterization, pathways, sampling strategies, and challenges to geo-environment and health. *Gondwana Res.* 2021;99:178–203. doi: 10.1016/j.gr.2021.07.003.
4. Myung H, Joung YS. Contribution of Particulates to Airborne Disease Transmission and Severity: A Review. *Environ Sci Technol.* 2024 Apr 23;58(16):6846-6867. doi: 10.1021/acs.est.3c08835.
5. Rastmanesh A, Boruah JS, Lee MS, Park S. On-Site Bioaerosol Sampling and Airborne Microorganism Detection Technologies. *Biosensors (Basel).* 2024;14(3):122. doi: 10.3390/bios14030122.
6. Vélez-Pereira A, Camargo Caicedo Y. Comportamiento aerodinámico y viabilidad de las partículas biológicas. *RE'TAKVN-Revista de la Facultad de Ingeniería.* 2008;1:13.
7. Seppänen OA, Fisk WJ. Summary of human responses to ventilation. *Indoor Air.* 2004;14 Suppl 7:102-18. doi: 10.1111/j.1600-0668.2004.00279.x.
8. World Health Organization. (2021). Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/339857>.
9. Ghosh B, Lal H, Srivastava A. Review of bioaerosols in indoor environment with special reference to sampling, analysis and control mechanisms. *Environ Int.* 2015;85:254-72. doi: 10.1016/j.envint.2015.09.018.
10. Rafał T. Biological Threat Detection in the Air and on the Surface : How to Define the Risk. 2014;253–61.

11. Sandoval-Flores L. Aspectos físicos, químicos y biológicos de la contaminación hospitalaria. *Medicina e Investigación*. 2014;2:35-41. doi: 10.1016/S2214-3106(15)30026-1.
12. Johnston NJ, Price R, Day CJ, Sandy JR, Ireland AJ. Quantitative and qualitative analysis of particulate production during simulated clinical orthodontic debonds. *Dent Mater*. 2009 Sep;25(9):1155-62. doi: 10.1016/j.dental.2009.04.002.
13. Cao R, Qiu P, Xu B, Lin J, Chu D, Fan Z. Effectiveness of interventions to reduce aerosol generation in dental environments: A systematic review. *Prev Med Rep*. 2023;35:102383. doi: 10.1016/j.pmedr.2023.102383.
14. Quintero IM, Sabater AC, Perero VT. Air particulate concentration during orthodontic procedures : a pilot study. *BMC Oral Health*. 2021;1–10. doi: 10.1186/s12903-021-01725-7.
15. Tsuda A, Henry FS, Butler JP. Particle transport and deposition: basic physics of particle kinetics. *Compr Physiol*. 2013;3(4):1437-71. doi: 10.1002/cphy.c100085.
16. Xie F, Su Y, Tian Y, Shi Y, Zhou X, Wang P et al. The shifting of secondary inorganic aerosol formation mechanisms during haze aggravation: the decisive role of aerosol liquid water. *Atmos Chem Phys*. 2023;23:2365-2378. doi: 10.5194/acp-23-2365-2023.
17. Qiu G, Zhang X, deMello AJ, Yao M, Cao J, Wang J. On-site airborne pathogen detection for infection risk mitigation. *Chem Soc Rev*. 2023;52:8531-8579. doi: 10.1039/D3CS00417A.
18. Fiegel J, Clarke R, Edwards DA. Airborne infectious disease and the suppression of pulmonary bioaerosols. *Drug Discov Today*. 2006;11(1-2):51-7. doi: 10.1016/S1359-6446(05)03687-1.
19. Zhou X, Liu X, Zhao H, Guo G, Jiang X, Liu S, Sun X, Yang H. Research advances in microfluidic collection and detection of virus, bacterial, and fungal bioaerosols. *Microchim Acta*. 2024;191:132. doi: 10.1007/s00604-024-06213-7.

20. Haig CW, Mackay WG, Walker JT, Williams C. Bioaerosol sampling: sampling mechanisms, bioefficiency and field studies. *J Hosp Infect.* 2016;93(3):242-55. doi: 10.1016/j.jhin.2016.03.017.
21. Huang Z, Yu X, Liu Q, Maki T, Alam K, Wang Y, et al. Science of the Total Environment Bioaerosols in the atmosphere: A comprehensive review on detection methods , concentration and influencing factors. *Sci Total Environ.* 2024;912:168818. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.168818.
22. Šantl-Temkiv T, Amato P, Casamayor EO, Lee PKH, Pointing SB. Microbial ecology of the atmosphere. *FEMS Microbiol Rev.* 2022;46(4):fuac009. doi: 10.1093/femsre/fuac009.
23. Hey Reoun A, Mainelis G, White L. Development and calibration of real-time PCR for quantification of airborne microorganisms in air samples. *Atmos Environ.* 2006;40(40):7924-7939. doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.07.020.
24. Negishi N, Yamano R, Hori T, Koura S, Maekawa Y, Sato T. Development of a high-speed bioaerosol elimination system for treatment of indoor air. *Build Environ.* 2023 ;227:109800. doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109800.
25. Yang S, Yin Y, Zhang W, Li H, Chen R. Jo ur na l P. *Sci Total Environ.* 2024;171796. doi: /10.1016/j.scitotenv.2024.171796.
26. Grinshpun SA, Adhikari A, Honda T, Kim KY, Toivola M, Rao KS, Reponen T. Control of aerosol contaminants in indoor air: combining the particle concentration reduction with microbial inactivation. *Environ Sci Technol.* 2007;41(2):606-12. doi: 10.1021/es061373o.
27. Norbäck D. An update on sick building syndrome. *Curr Opin Allergy Clin Immunol.* 2009;9(1):55-9. doi: 10.1097/ACI.0b013e32831f8f08.
28. Akova İ, Kiliç E, Sümer H, Keklikçi T. Prevalence of sick building syndrome in hospital staff and its relationship with indoor environmental quality. *Int J Environ Health Res.* 2022;32(6):1204-1219. doi: 10.1080/09603123.2020.1862067.

29. Nakayama Y, Nakaoka H, Suzuki N, Tsumura K, Hanazato M, Todaka E, Mori C. Prevalence and risk factors of pre-sick building syndrome: characteristics of indoor environmental and individual factors. *Environ Health Prev Med*. 2019;24(1):77. doi: 10.1186/s12199-019-0830-8.
30. Fu X, Ou Z, Sun Y. Indoor microbiome and allergic diseases: From theoretical advances to prevention strategies. *Eco Environ Health*. 2022 Oct 17;1(3):133-146. doi: 10.1016/j.eehl.2022.09.002.
31. Jafari MJ, Khajevandi AA, Mousavi Najarkola SA, Yekaninejad MS, Pourhoseingholi MA, Omid L, Kalantary S. Association of Sick Building Syndrome with Indoor Air Parameters. *Tanaffos*. 2015;14(1):55-62.
32. Gawande S, Tiwari RR, Narayanan P, Bhadri A. Indoor Air Quality and Sick Building Syndrome: Are Green Buildings Better than Conventional Buildings? *Indian J Occup Environ Med*. 2020;24(1):30-32. doi: 10.4103/ijoem.IJOEM_148_19.
33. Zijlema W, Cerin E, Cirach M, Bartoll X, Borrell C, Dadvand P, et al. Cities and mental health: The role of the built environment, and environmental and lifestyle factors in Barcelona. *Environ Pollut*. 2024;346:123559. doi:10.1016/j.envpol.2024.123559.
34. Tran VV, Park D, Lee YC. Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Apr 23;17(8):2927. doi: 10.3390/ijerph17082927.
35. Kumar P, Singh AB, Arora T, Singh S, Singh R. Science of the Total Environment Critical review on emerging health effects associated with the indoor air quality and its sustainable management. *Sci Total Environ*. 2023;872:162163. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162163.
36. Ebrahimifakhar A, Poursadegh M, Hu Y, Yuill DP, Luo Y. Science of the Total Environment A systematic review and meta-analysis of field studies of portable air cleaners: Performance, user behavior, and by-product emissions. *Sci Total Environ*. 2024;912:168786. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.168786.

37. Liu C, Chen R, Sera F et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. *N Engl J Med*. 2019 Aug 22;381(8):705-715. doi: 10.1056/NEJMoa1817364.
38. Mecenas P, Bastos RTDRM, Vallinoto ACR, Normando D. Effects of temperature and humidity on the spread of COVID-19: A systematic review. *PLoS One*. 2020 Sep 18;15(9):e0238339. doi: 10.1371/journal.pone.0238339.
39. Stadnytskyi V, Bax CE, Bax A, Anfinrud P. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2020 Jun 2;117(22):11875-11877. doi: 10.1073/pnas.2006874117.
40. Tastassa AC, Sharaby Y, Lang-yona N. Science of the Total Environment Aeromicrobiology : A global review of the cycling and relationships of bioaerosols with the atmosphere. *Sci Total Environ*. 2024;912Sept2023:168478. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.168478.
41. Sajjad B, Hussain S, Rasool K, Hassan M, Almomani F. Comprehensive insights into advances in ambient bioaerosols sampling , analysis and factors influencing bioaerosols composition. *Environ Pollut*. 2023;336):122473. doi: 10.1016/j.envpol.2023.122473.
42. Morawska L, Milton DK. It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Clin Infect Dis*. 2020 Dec 3;71(9):2311-2313. doi: 10.1093/cid/ciaa939.
43. Jarvis MC. Aerosol Transmission of SARS-CoV-2: Physical Principles and Implications. *Front Public Health*. 2020 Nov 23;8:590041. doi: 10.3389/fpubh.2020.590041.
44. Tzoutzas I, Maltezou HC, Barmparesos N, Tasios P, Efthymiou C, Assimakopoulos MN, Tseroni M, Vorou R, Tzermpos F, Antoniadou M, Panis V, Madianos P. Indoor Air Quality Evaluation Using Mechanical Ventilation and Portable Air Purifiers in an Academic Dentistry Clinic during the COVID-19 Pandemic in Greece. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Aug 23;18(16):8886. doi: 10.3390/ijerph18168886.

45. Bhui K, Newbury JB, Latham RM et al. Air quality and mental health: evidence, challenges and future directions. *BJPsych Open*. 2023 Jul 5;9(4):e120. doi: 10.1192/bjo.2023.507.
46. Gorai AK, Kanchan, Upadhyay A, Tuluri F, Goyal P, Tchounwou PB. An innovative approach for determination of air quality health index. *Sci Total Environ*. 2015 Nov 15;533:495-505. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.06.133.
47. Braithwaite I, Zhang S, Kirkbride JB, Osborn DPJ, Hayes JF. Air Pollution (Particulate Matter) Exposure and Associations with Depression, Anxiety, Bipolar, Psychosis and Suicide Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect*. 2019 Dec;127(12):126002. doi: 10.1289/EHP4595.
48. Liu XQ, Huang J, Song C, Zhang TL, Liu YP, Yu L. Neurodevelopmental toxicity induced by PM_{2.5} Exposure and its possible role in Neurodegenerative and mental disorders. *Hum Exp Toxicol*. 2023 Jan-Dec;42:9603271231191436. doi: 10.1177/09603271231191436.
49. Zang S, Luan J, Li L, Yu H, Wu Q, Chang Q. Ambient air pollution and COVID-19 risk: Evidence from 35 observational studies. *Environ Res*. 2022;204(PB):112065. doi: 10.1016/j.envres.2021.112065.
50. Silva ACT, Branco PTBS, Sousa SIV. Impact of COVID-19 Pandemic on Air Quality: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Feb 10;19(4):1950. doi: 10.3390/ijerph19041950.
51. Maleki M, Anvari E, Hopke PK, Noorimotlagh Z, Mirzaee SA. An updated systematic review on the association between atmospheric particulate matter pollution and prevalence of SARS-CoV-2. *Environ Res*. 2021 Apr;195:110898. doi: 10.1016/j.envres.2021.110898.
52. Marquès M, Domingo JL. Positive association between outdoor air pollution and the incidence and severity of COVID-19. A review of the recent scientific evidences. *Environ Res*. 2022 Jan;203:111930. doi: 10.1016/j.envres.2021.111930.

53. Han P, Ivanovski S. Saliva-Friend and Foe in the COVID-19 Outbreak. *Diagnostics (Basel)*. 2020 May 9;10(5):290. doi: 10.3390/diagnostics10050290.
54. Silva ACT, Branco PTBS, Sousa SIV. Impact of COVID-19 Pandemic on Air Quality: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Feb 10;19(4):1950. doi: 10.3390/ijerph19041950.
55. Dahu B, Aburayya A, Shameem B, Shwede F, Alawadhi M, Aljasm S, Salloum S, Aburayya H, Aburayya I. The impact of COVID-19 lockdowns on air quality: a systematic review study. *South East Eur J Public Health*. 2022;Special:1-22. doi: 10.11576/seejph-5929.
56. Gheorghita D, Kun Szabó F, Ajtai T, Hodovány S, Bozóki Z, Braunitzer G, Antal MÁ. Aerosol Reduction of 2 Dental Extraoral Scavenger Devices In Vitro. *Int Dent J*. 2022 Oct;72(5):691-697. doi: 10.1016/j.identj.2022.05.007.
57. Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Ferris A, et al. SARS - CoV - 2 is rapidly inactivated at high temperature. *Environ Chem Lett*. 2021;19(2):1773–7. doi: 10.1007/s10311-021-01187-x.
58. Alvarenga MOP, Dias JMM, Lima BJLA, Gomes ASL, Monteiro GQM. The implementation of portable air-cleaning technologies in healthcare settings - a scoping review. *J Hosp Infect*. 2023 Feb;132:93-103. doi: 10.1016/j.jhin.2022.12.004.
59. Samaranayake LP, Fakhruddin KS, Panduwawala C. The efficacy of bio-aerosol reducing procedures used in dentistry: a systematic review. *Acta Odontol Scand*. 2021;79(1):69–80. doi: 10.1080/00016357.2020.1839673.
60. Gallagher JE, Sukriti KC, Johnson IG, Al-yaseen W, Robertson M, Harris R, et al. OPEN A systematic review of contamination (aerosol , splatter and droplet generation) associated with oral surgery and its relevance to COVID-19. *BDJ Open*. 2020;(October):1–5. doi: 10.1038/s41405-020-00053-2.
61. Yang M, Chaghtai A, Melendez M, Hasson H, Whitaker E, Badi M, et al. Mitigating saliva aerosol contamination in a dental school clinic. *BMC Oral Health*. 2021;1–8. doi: 10.1186/s12903-021-01417-2.

62. Hawrot H. What are the effects of portable air cleaners with a high-efficiency particulate air filter on aerosol removal in dental surgeries? *Evid Based Dent*. 2021 Jan;22(2):56-57. doi: 10.1038/s41432-021-0186-y.
63. Liu MH, Chen CT, Chuang LC, Lin WM, Wan GH. Removal efficiency of central vacuum system and protective masks to suspended particles from dental treatment. *PLoS One*. 2019 Nov 26;14(11):e0225644. doi: 10.1371/journal.pone.0225644.
64. Leggat PA, Kedjarune U, Smith DR. Occupational health problems in modern dentistry: a review. *Ind Health*. 2007 Oct;45(5):611-21. doi: 10.2486/indhealth.45.611.
65. Martín-Quintero I, Cervera-Sabater A, Cortés-Bretón Brinkmann J, Aragonese-Lamas JM, Flores-Fraile J, Santos-Marino J. Reduction by air purifier of particulate concentration during orthodontic procedures: a pilot study. *BMC Oral Health*. 2024 Feb 7;24(1):199. doi: 10.1186/s12903-024-03956-w.
66. Zemouri C, de Soet H, Crielaard W, Laheij A. A scoping review on bio-aerosols in healthcare and the dental environment. *PLoS One*. 2017 May 22;12(5):e0178007. doi: 10.1371/journal.pone.0178007.
67. Gonçalves Lomardo P, Nunes MC, Arriaga P, Antunes LA, Machado A, Quinelato V, Aguiar TRDS, Casado PL. Concern about the risk of aerosol contamination from ultrasonic scaler: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*. 2024 Apr 5;24(1):417. doi: 10.1186/s12903-024-03996-2.
68. Chatoutsidou, S.E., Saridaki, A., Raisi, L., Katsivela, E., Tsiamis, G., Zografakis, M. and Lazaridis, M. (2021), Airborne particles and microorganisms in a dental clinic: Variability of indoor concentrations, impact of dental procedures, and personal exposure during everyday practice. *Indoor Air*, 31: 1164-1177. doi: 10.1111/ina.12820 .
69. Kun-Szabó F, Gheorghita D, Ajtai T, Hodovány S, Bozóki Z, Braunitzer G, Antal MÁ. Aerosol generation and control in the dental operator: An in vitro

spectrometric study of typical clinical setups. PLoS One. 2021 Feb 4;16(2):e0246543. doi: 10.1371/journal.pone.0246543.

70. Blackley BH, Anderson KR, Panagakos F, Chipps T, Virji MA. Efficacy of dental evacuation systems for aerosol exposure mitigation in dental clinic settings. J Occup Environ Hyg. 2022 May;19(5):281-294. doi: 10.1080/15459624.2022.2053140.

71. Volgenant CMC, Persoon IF, de Ruijter RAG, de Soet JJH. Infection control in dental health care during and after the SARS-CoV-2 outbreak. Oral Dis. 2021 Apr;27 Suppl 3(Suppl 3):674-683. doi: 10.1111/odi.13408.

72. Thornton GM, Fleck BA, Dandnayak D, Kroeker E, Zhong L, Hartling L. The impact of heating, ventilation and air conditioning (HVAC) design features on the transmission of viruses, including the 2019 novel coronavirus (COVID-19): A systematic review of humidity. PLoS One. 2022 Oct 10;17(10):e0275654. doi: 10.1371/journal.pone.0275654.

73. Kumbargere Nagraj S, Eachempati P, Paisi M, Nasser M, Sivaramakrishnan G, Verbeek JH. Interventions to reduce contaminated aerosols produced during dental procedures for preventing infectious diseases. Cochrane Database Syst Rev. 2020 Oct 12;10(10):CD013686. doi: 10.1002/14651858.CD013686.pub2.

74. Yit J, Chew BT, Yau Y. A review of air filter test standards for particulate matter of general ventilation. Build Serv Eng Res Technol. 2020;41:014362442091562. doi: 10.1177/0143624420915626.

75. Bordea IR, Xhajanka E, Candrea S et al. Coronavirus (SARS-CoV-2) Pandemic: Future Challenges for Dental Practitioners. Microorganisms. 2020 Oct 31;8(11):1704. doi: 10.3390/microorganisms8111704.

76. Guzmán-Flores EC, Fuentes-Ayala AR, Martínez-Martínez AC et al. Reduction of aerosol dissemination in a dental area generated by high-speed and scaler ultrasonic devices employing the "Prime Protector". PLoS One. 2023 Aug 3;18(8):e0278791. doi: 10.1371/journal.pone.0278791.

77. Ren YF, Huang Q, Marzouk T, Richard R, Pembroke K, Martone P, Venner T, Malmstrom H, Eliav E. Effects of mechanical ventilation and portable air cleaner on aerosol removal from dental treatment rooms. *J Dent*. 2021 Feb;105:103576. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103576.
78. Fennelly M, Gallagher C, Harding M, Hellebust S, Wenger J, Sullivan NO, et al. Real-time Monitoring of Aerosol Generating Dental Procedures. *J Dent*. 2022;120. 2021 Oct:104092. doi: 10.1016/j.jdent.2022.104092.
79. Rafiee A, Carvalho R, Lunardon D, Flores-Mir C, Major P, Quemerais B, Altabtbaei K. Particle Size, Mass Concentration, and Microbiota in Dental Aerosols. *J Dent Res*. 2022 Jul;101(7):785-792. doi: 10.1177/00220345221087880.
80. Miranda C, Odilon DA, Filho G, Magno F. Front lines of the COVID - 19 pandemic : what is the effectiveness of using personal protective equipment in health service environments ?— a systematic review. *Int Arch Occup Environ Health*. 2022;95(1):7–24. doi: 10.1007/s00420-021-01775-y.
81. Mote N, Dhanjani V, Toshniwal NG, Pallan K, Rathod R. COVID-19 and Progressive Orthodontics. *J Indian Orthod Soc*. 2020 Oct;54(4):347-351. doi: 10.1177/0301574220957539.
82. Baboni FB, Guariza Filho O, Moreno AN, Rosa EAR. Influence of cigarette smoke condensate on cariogenic and candidal biofilm formation on orthodontic materials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010 Oct;138(4):427-434. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.05.023.
83. Ireland AJ, Wilson AA, Blythe L, Johnston NJ, Price R, Sandy JR. Particulate production during orthodontic production laboratory procedures. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2011 Sep-Oct;21(5):536-40. doi: 10.1038/jes.2011.26.
84. Nagaie M, Nishiura A, Honda Y, Fujiwara S, Matsumoto N. A comprehensive mixture of tobacco smoke components retards orthodontic tooth movement via the inhibition of osteoclastogenesis in a rat model. *Int J Mol Sci*. 2014 Oct 15;15(10):18610-22. doi: 10.3390/ijms151018610.

85. Vig P, Attack NE, Sandy JR, Sherriff M, Ireland AJ. Particulate production during debonding of fixed appliances: Laboratory investigation and randomized clinical trial to assess the effect of using flash-free ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019 Jun;155(6):767-778. doi: 10.1016/j.ajodo.2019.02.010.
86. Omar H, Haggag S, Ghoneima A. The effect of cigarette smoke on the shear bond strength of metallic and ceramic orthodontic brackets: An in vitro study. *Int Orthod.* 2020 Mar;18(1):121-126. doi: 10.1016/j.ortho.2019.07.002.
87. Miranda AM, Copello FM, Castro ACR, Sant'Anna EF. Does the exposure to cigarette smoke influence the colour stability and mechanical properties of different orthodontic elastic ligatures? - in vitro study. *Int Orthod.* 2021 Dec;19(4):689-696. doi: 10.1016/j.ortho.2021.09.003.
88. Liu MH, Tung TH, Chung FF, Chuang LC, Wan GH. High total volatile organic compounds pollution in a hospital dental department. *Environ Monit Assess.* 2017 Oct 18;189(11):571. doi: 10.1007/s10661-017-6265-z.
89. Singh H, Maurya RK, Sharma P, Kapoor P, Mittal T. Aerosol generating ganic compounds pollution in a hospital dental department.procedural risks and concomitant mitigation strategies in orthodontics amid COVID-19 pandemic - An updated evidence-based review. *Int Orthod.* 2021 Sep;19(3):329-345. doi: 10.1016/j.ortho.2021.05.004.
90. Dabiri D, Conti SR, Sadoughi Pour N et al. A Multi-Disciplinary Review on the Aerobiology of COVID-19 in Dental Settings. *Front Dent Med.* 2021;2:726395. doi: 10.3389/fdmed.2021.726395.
91. Martín-Quintero I, Cervera-Sabater A, Tapias-Perero V, Nieto-Sánchez I, de la Cruz-Pérez J. Air particulate concentration during orthodontic procedures: a pilot study. *BMC Oral Health.* 2021 Jul 21;21(1):361. doi: 10.1186/s12903-021-01725-7.
92. Fernstrom A, Goldblatt M. Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. *J Pathog.* 2013;2013:493960
93. Szymańska J. Dental bioaerosol as an occupational hazard in a dentist's workplace. *Ann Agric Environ Med.* 2007;14(2):203-7.

94. Leggat PA, Kedjarune U. Bacterial aerosols in the dental clinic: a review. *Int Dent J*. 2001 Feb;51(1):39-44.
95. Bennett AM, Fulford MR, Walker JT, Bradshaw DJ, Martin MV, Marsh PD. Microbial aerosols in general dental practice. *Br Dent J*. 2000 Dec 23;189(12):664-7
96. Dawson M, Soro V, Dymock D, Price R, Griffiths H, Dudding T, Sandy JR, Ireland AJ. Microbiological assessment of aerosol generated during debond of fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2016 Nov;150(5):831-838.
97. “Work Context: Exposed to Disease or Infections.” O*NET OnLine, National Center for O*NET Development, www.onetonline.org/find/descriptor/result/4.C.2.c.1.b. Accessed 10 February 2024
98. Workman AD, Jafari A, Welling DB, et al. Airborne Aerosol Generation During Endonasal Procedures in the Era of COVID-19: Risks and Recommendations. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*. 2020;163(3):465-470.
99. Morawska L, Cao J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environ Int*. 2020 Jun;139:105730.
100. Yao M, Zhang L, Ma J, Zhou L. On airborne transmission and control of SARS-Cov-2. *Sci Total Environ*. 2020 Aug 20;731:139178.
101. Al Huraimel K, Alhosani M, Kunhabdulla S, Stietiya MH. SARS-CoV-2 in the environment: Modes of transmission, early detection and potential role of pollutions. *Sci Total Environ*. 2020 Nov 20;744:140946. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140946.
102. Walker MD, Vincent JC, Benson L, Stone CA, Harris G, Ambler RE, et al. Effect of relative humidity on transfer of aerosol-deposited artificial and human saliva from surfaces to artificial finger-pads. *Viruses* [Internet]. 2022;14(5):1048. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/v14051048>
103. Lahdentausta L, Sanmark E, Lauretsalo S, Korkee V, Nyman S, Atanasova N, Oksanen L, Zhao J, Hussein T, Hyvärinen A, Paju S. Aerosol concentrations and size distributions during clinical dental procedures. *Heliyon*. 2022 Oct 18;8(10):e11074. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11074. PMID: 36303931; PMCID: PMC9593181.

104. Duill FF, Schulz F, Jain A, Krieger L, van Wachem B, Beyrau F. The Impact of Large Mobile Air Purifiers on Aerosol Concentration in Classrooms and the Reduction of Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Nov 2;18(21):11523. doi: 10.3390/ijerph182111523.

105. Watson R, Oldfield M, Bryant JA, Riordan L, Hill HJ, Watts JA, Alexander MR, Cox MJ, Stamataki Z, Scurr DJ, de Cogan F. Efficacy of antimicrobial and anti-viral coated air filters to prevent the spread of airborne pathogens. *Sci Rep*. 2022 Mar 9;12(1):2803. doi: 10.1038/s41598-022-06579-9.

106. Lednicky JA, Lauzardo M, Hugh Fan Z, et al. Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients. *Int J Infect Dis*. 2021 Mar;105:454-455. doi: 10.1016/j.ijid.2020.11.017

107. Allen JG, Marr LC. Recognizing and controlling airborne transmission of SARS-CoV-2 in indoor environments. *Indoor Air*. 2020 Oct;30(5):557-558. doi: 10.1111/ina.12697.

108. Liu DT, Phillips KM, Speth MM, Besser G, Mueller CA, Sedaghat AR. Portable HEPA Purifiers to Eliminate Airborne SARS-CoV-2: A Systematic Review. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2022 Apr;166(4):615-622. doi: 10.1177/01945998211022636.

109. Elsaid AM, Ahmed MS. Indoor Air Quality Strategies for Air-Conditioning and Ventilation Systems with the Spread of the Global Coronavirus (COVID-19) Epidemic: Improvements and Recommendations. *Environ Res*. 2021 Aug;199:111314. doi: 10.1016/j.envres.2021.111314.

10. ANEXO I



EVALUACIÓN ÉTICA DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN: Evaluación de las partículas suspendidas en el aire del gabinete dental

Investigador: María Inmaculada Martín Quintero

OBJETO DEL ESTUDIO: Proyecto de Investigación

AREA DE ESTUDIO: Odontología

Visto y evaluado el proyecto presentado al Comité de Bioética de la Universidad Alfonso X el sabio, el mismo procede a emitir el siguiente dictamen:

Dictamen final: Favorable

NUÑEZ
TREBOL
IRIS -
0263681
7M

Firmado digitalmente por NUÑEZ TREBOL IRIS - 02636817M
Fecha: 2022.02.13 19:58:05 +01'00'

FECHA: 13 de febrero de 2022

FIRMA:

1. Favorable: estudio éticamente correcto.
2. Favorable condicionado: a la recepción de la pertinente respuesta a las aclaraciones solicitadas o a la recepción de la documentación reclamada.
3. Desfavorable: estudio con las deficiencias éticas indicadas en el acta.

11. ANEXO II

RESULTADOS ESTUDIO GRUPO FILTRO Y GRUPO CONTROL

0.3um		0.5um		1.0um		2.5um		5.0um		10um		AT(°C)		RH(%)	
Filtro	Control	Filtro	Control	Filtro	Control	Filtro	Control	Filtro	Control	Filtro	Control	Filtro	Control	Filtro	Control
6841	17932	3806	9475	1254	2648	403	636	18	22	35	37	25	23	33	46
10194	19503	5797	10410	1813	3233	521	813	13	37	43	55	26	23	32	44
20780	17420	13761	12345	4434	3825	1304	980	53	29	99	54	26	24	31	46
14349	18497	8340	9412	2381	2707	736	680	27	28	72	42	26	24	31	46
9714	23771	5340	14219	1731	4309	500	1091	20	36	44	63	26	24	31	44
14392	21029	8247	11559	2704	3256	855	789	38	28	77	45	26	24	31	43
14661	19275	7474	10968	2081	3241	520	755	22	25	32	50	23	24	45	45
12149	12732	6414	6932	1640	2046	387	518	16	22	23	36	24	24	45	37
5524	4614	2595	2904	792	828	203	262	8	2	17	19	26	26	33	34
4798	10102	2307	5075	648	1482	192	431	5	12	17	38	26	26	33	37
2956	14320	2356	6335	787	1793	248	488	5	17	19	45	26	26	33	37
9589	10958	4355	4537	1193	1278	367	372	12	17	33	39	26	26	33	36
18625	7669	9268	4564	2714	1435	710	503	34	20	52	48	25	26	40	37
8893	4028	4166	2715	1147	874	326	289	13	4	35	24	26	25	38	23
9411	3809	4613	2840	1366	848	400	303	13	11	36	20	26	24	38	23
12713	2951	6480	3032	1819	900	531	339	21	11	48	23	24	25	27	22
13188	5692	5766	3216	1512	1110	394	346	12	11	31	40	25	25	26	25
6193	13065	3748	6661	1154	1937	350	547	5	17	24	44	25	25	23	31
7338	13572	3571	8347	988	2545	289	694	6	26	23	46	25	26	24	30
4022	16571	2509	8328	763	2278	264	600	11	26	24	44	24	25	34	32
10467	14902	6485	7986	2001	2372	572	648	21	25	41	45	24	24	33	32
5575	12986	3076	7418	929	2263	282	667	11	18	23	50	24	24	35	33
651	5879	314	3354	10	1125	31	380	14	15	28	36	24	24	37	34

3		1		55		2									
838		437		12		37									
0	9432	6	5386	88	1694	7	523	13	16	31	43	24	24	31	34
692		384		11		34									
7	9347	4	5260	68	1589	9	478	11	17	28	39	24	25	31	30
692		384		11		34									
7	9679	4	5332	68	1603	9	478	11	17	28	39	24	25	31	31
679		382		12		36									
1	9465	0	5350	28	1655	0	505	10	16	32	41	26	24	31	32
130	1397	736		22		69									
56	1	6	7536	59	2431	6	777	20	32	59	84	25	27	38	39
932	2722	531	1202	15		56									
2	6	8	6	81	3474	4	920	10	42	47	80	27	25	38	45

GRUPO TRABAJO/FILTRO

Fecha hora	0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um	AT(°C)	RH(%)
10/03/2022 17:59	6841,25	3805,5	1254	403	17,75	35,25	25,25	33,25
10/03/2022 18:24	10193,529 4	5796,7 6	1813,4 1	520,88 2	13,235 3	42,705 9	26	31,7647
10/03/2022 18:43	20779,714 3	13761, 2	4433,6 4	1303,7 9	52,714 3	99,214 3	26	30,6429
10/03/2022 19:06	14349,166 7	8339,5	2380,6 7	735,5	26,5	71,666 7	26	31,3333
10/03/2022 19:21	9714,4545 5	5340,1 8	1731,2 7	500	20,090 9	43,909 1	26	31,2727
10/03/2022 20:09	14392,333 3	8247,2	2703,5 3	855,33 3	38,466 7	77,066 7	25,933 3	31,3333
16/03/2022 16:07	14660,655 2	7473,5 9	2080,9 7	520,44 8	22,413 8	31,896 6	22,655 2	45,4483
16/03/2022 16:39	12148,5	6414	1639,5	387	16	22,5	24	45
18/03/2022 17:48	5524,2	2595,4	792,4	203,2	7,8	16,6	26	33
18/03/2022 18:31	4797,7333 3	2307,2 7	648,06 7	191,73 3	4,8	16,533 3	26	33,4667
18/03/2022 19:07	2955,5384 6	2356,4 6	787,46 2	248,15 4	5,3846 2	18,769 2	26	33,23
18/03/2022 19:53	9589,3	4355	1192,5	367,1	12,4	32,6	26	33,1
23/03/2022 16:55	18624,88	9268,2	2714,2 8	710,48	33,6	52,24	24,6	39,8
23/03/2022 17:41	8893,2	4166,2	1146,6	325,6	13,2	34,6	25,6	38
23/03/2022 17:50	9411,3333 3	4612,8 9	1366,3 3	399,66 7	13,111 1	36,222 2	26	37,7778
01/04/2022	12713,375	6479,7	1819	531,37	20,875	47,75	24	27,125

15:27		5		5				
01/04/2022 16:09	13187,580 7	5766,2 6	1511,9 7	394,12 9	11,516 1	30,774 2	24,838 7	26
01/04/2022 16:30	6193	3747,6 5	1153,9 5	349,85	5,25	23,75	25	22,5
01/04/2022 17:03	7338,3	3571,4	987,8	288,7	5,8	22,6	25	23,7
07/04/2022 17:58	4021,5	2508,5 6	762,66 7	263,94 4	10,777 8	23,888 9	23,5	33,5
07/04/2022 18:37	10467,305 6	6485,1 1	2001,3 9	572,16 7	21,361 1	41,361 1	24	32,8611
07/04/2022 19:06	5575,1111 1	3075,8 1	929,25 9	282,14 8	10,592 6	23,185 2	23,592 6	34,8519
07/04/2022 19:20	6513,3333 3	3140,7 5	1055,3 3	311,66 7	13,5	28,333 3	23,75	36,5833
21/04/2022 14:43	8380,0932 2	4376,4 6	1287,5 2	377,07 2	12,531 5	30,873 9	24,409	30,5443
21/04/2022 16:37	6926,9490 3	3843,6 8	1168,2 7	349,36 4	11,401 9	27,713 2	24,178 8	30,6487
21/04/2022 17:11	6926,9490 3	3843,6 8	1168,2 7	349,36 4	11,401 9	27,713 2	24,178 8	30,6487
21/04/2022 18:02	6791,25	3820,1 3	1227,8 8	359,62 5	9,875	32,125	25,5	31,25
12/05/2022 14:57	13056,062 5	7366,4 4	2258,5	696,37 5	20,437 5	59,062 5	24,75	38,375
12/05/2022 15:39	9321,9333 3	5317,7 3	1581,2	564	9,8666 7	46,866 7	26,733 3	38,0667

GRUPO CONTROL

Fecha hora	0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um	AT(°C)	RH(%)
16/03/2022 18:02	17931, 5	9475,2 8	2647,7 8	635,5	22,055 6	36,5	23,222 2	45,6667
16/03/2022 18:23	19503, 4	10410, 3	3232,7 1	813	36,857 1	54,857 1	23,285 7	43,8571
16/03/2022 18:34	17419, 7	12345, 4	3825,2 9	979,57 1	28,714 3	54	24	45,7143
16/03/2022 18:53	18496, 6	9412	2706,7 7	680,15 4	27,538 5	41,846 2	24	46
16/03/2022 19:19	23770, 8	14219, 5	4309,3 5	1091,1 8	35,529 4	63,294 1	24	43,9412
16/03/2022 19:48	21028, 8	11558, 8	3255,8 1	788,56 3	28,062 5	45,125	24	43,1875
16/03/2022 20:05	19274, 7	10968	3241,4 3	754,71 4	25,428 6	50,142 9	24	44,8571
18/03/2022 16:07	12732, 4	6931,9 4	2046,0 6	517,87 1	21,709 7	35,871	24,096 8	37,0968
18/03/2022 17:08	4613,6 9	2903,8 1	828,18 8	262,09 4	1,875	18,812 5	25,875	34,38

23/03/2022 18:24	10102, 4	5074,5 9	1481,8 5	431,33 3	11,925 9	38,148 1	26	37,2963
23/03/2022 19:05	14319, 7	6335,1 1	1792,6 1	487,66 7	16,666 7	45,222 2	26	36,5
23/03/2022 19:26	10957, 5	4537	1278,2 9	371,71 4	16,5	38,928 6	25,714 3	36,1429
23/03/2022 20:27	7669,0 4	4564,3 6	1434,8 4	503,12	19,84	47,68	25,64	37
01/04/2022 17:37	4027,8 3	2715,4 7	874	288,66 7	3,9666 7	23,533 3	25	22,8
01/04/2022 18:27	3809,4	2840,1	847,9	303,1	10,8	20,4	24,3	23,2
01/04/2022 18:42	2951,3 3	3032,1 7	900,16 7	339	11,333 3	22,833 3	25	22
01/04/2022 19:15	5691,5	3215,6 3	1110,3 8	346,37 5	11,25	39,875	25	25,375
07/04/2022 15:20	13065, 3	6661,4	1937,0 4	546,56	17,08	43,88	25,32	31,44
07/04/2022 15:45	13571, 6	8346,7	2545,2	693,75	25,8	45,95	26	30,15
07/04/2022 16:07	16570, 7	8327,6 4	2278,2 9	599,92 9	25,5	44,357 1	24,928 6	32,0714
07/04/2022 16:20	14901, 6	7986,1 7	2372,1 7	647,5	25,166 7	45,083 3	24,333 3	32,4167
07/04/2022 17:09	12985, 9	7418,4 7	2263,1 8	666,88 9	17,822 2	49,955 6	24,022 2	33,2
07/04/2022 17:17	5878,8 6	3354,4 3	1124,5 7	379,71 4	14,857 1	36,142 9	24	34
21/04/2022 18:11	9432,4	5386,4 5	1693,8 7	523,30 2	16,339 7	43,049 2	24,011 1	33,6
21/04/2022 18:59	9347,1 5	5260,4 6	1589,2 2	477,66 3	16,635 1	38,589 9	24,866 9	30,2612
21/04/2022 19:19	9678,6 5	5332,1	1602,7 8	478,33	16,637 2	39,032	24,942 4	30,6771
23/03/2022 17:41	9464,6	5350,3 8	1654,7 3	505,18	16,458 3	41,353 9	24,368 5	32,3477
12/05/2022 15:56	13970, 5	7535,9	2430,7	777	31,9	83,9	27,1	39
12/05/2022 18:42	27226, 3	12025, 7	3473,7 4	920,30 4	41,826 1	80,434 8	25,173 9	44,5217

12. ANEXO III

RESEARCH

Open Access



Air particulate concentration during orthodontic procedures: a pilot study

Inmaculada Martín-Quintero^{1,3*}, Alberto Cervera-Sabater¹, Víctor Tapias-Perero², Iván Nieto-Sánchez¹ and Javier de la Cruz-Pérez¹

Abstract

Background: This study evaluates the particle dispersion involved in dental procedures carried out during orthodontic treatments. Variants such as temperature and relative humidity in the dental cabinet were considered.

Methods: Using a particle counter, a pilot study was conducted, in which 98 consecutive recordings were made during appointments of patients undergoing orthodontic treatments. Temperature, relative humidity and particles present at the beginning (AR) and during the appointment (BR) were recorded. A control record (CR) of temperature, relative humidity and particles present was made before the start of the clinical activity. In addition to conventional statistics, differential descriptive procedures were used to analyse results, and the influence of relative humidity on particle concentration was analysed by statistical modelling with regression equations.

Results: The number of particles present, regardless of their size, was much higher in AR than in CR ($p < .001$). The same was true for relative humidity and ambient temperature. The relationship between relative humidity and particle number was determined to be exponential.

Limitations of the study: The limitations are associated with sample size, environmental conditions of the room and lack of discrimination among the procedures performed.

Conclusions: This pilot study shows that from the moment a patient enters a dental office, a large number of additional particles are generated. During treatment, the number of particles of 0.3 microns—which have a high capacity to penetrate the respiratory tract—increases. Moreover, a relationship between relative humidity and particle formation is observed. Further studies are needed.

Keywords: Orthodontics, Dentistry, COVID-19, SARS-CoV-2, Bioaerosols

Background

In recent months, the infectious disease COVID-19, caused by transmission of the SARS-CoV-2 coronavirus, has caused a global pandemic with serious consequences at all levels [1, 2]. This disease is known to cause acute respiratory syndrome and pose a public health challenge [3, 4].

One year into the pandemic, there is still some controversy about how the virus uses the airborne route for person-to-person transmission. It has been known since the late nineteenth century that respiratory diseases are transmitted by direct or indirect contact with infectious material, respiratory droplets (Flügge droplets larger than 5 microns) or aerosols [5, 6]. The larger respiratory droplets can spread up to a maximum of about 2 m from the source [5].

However, a person's respiratory emissions are a mixture of mucosal droplets and a dynamic multiphase gas cloud. Thus, the larger droplets directly or indirectly

*Correspondence: mquinmar@myuax.com

¹ Department of Orthodontics, Universidad Alfonso X El Sabio, Madrid, Spain

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2021. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

contaminate the environment closest to the individual, while the smaller droplets (Wells droplets) evaporate and become aerosols, which can remain suspended in the air, be inhaled and penetrate the lung alveoli because of their small size and mass. The trajectory of this cloud depends on the ambient humidity, temperature, velocity and force of expulsion. These aerosols are currently being held responsible for high pollution rates, mainly in enclosed or poorly ventilated places [5–7].

Lindsley et al. [8] measured the presence of influenza RNA virus in particles coughed up by infected individuals and found that the virus was found in 35% of particles smaller than 4 microns, 23% of particles between 1 and 4 microns and 42% of particles smaller than 1 micron.

Recent studies indicate a greater stability and infectious capacity of aerosols disseminated by SARS-CoV-2–infected individuals compared to those dispersed by SARS-CoV-1.3–infected ones. Van Doremalen et al. [9] obtained similar results regarding the stability of both viruses, thus pointing to the possible transmission of SARS-CoV-2 through aerosols suspended in the air for hours.

Once inhaled, the reach of these particles in the respiratory tree depends on many factors such as lung anatomy, respiratory pattern, presence of respiratory disease and particle size. Smaller bioaerosols can reach deeper into the respiratory tract and be retained longer [10].

By knowing the routes of transmission, appropriate preventive measures designed to minimise transmission of infection can be adopted, bearing in mind that to date, results point to a possible risk of aerosol transmission of SARS-CoV-2 [5, 6].

Conventional prevention measures are aimed at providing protection against respiratory droplets of 5 microns or larger. These include measures based on the use of barriers such as masks, frequent handwashing, maintaining social distance and staying indoors as much as possible. Recently, however, the scientific community has begun to warn of the possibility of aerosol-borne transmission of viruses that cause many respiratory diseases, including SARS-CoV-2 [5, 6].

Dental practices are potentially at risk of transmission for COVID-19 and some protocols have been established in order to make the risk as low as possible. [11–13].

In 2017, 50.3% of the Spanish population acknowledged having visited the dentist on one or more occasions less than a year ago [14]. At dental clinic, it is not possible for patients to maintain constant use of the mask, and the professional works at distances that are within reach of respiratory droplets and aerosols. Considering the numerous visits that occur, some dental procedures have come under scrutiny as procedures that generate large amounts of particulate matter, including small particles

[5, 10]. These procedures include those that require the use of turbines, use of ultrasound or debonding of fixed orthodontic appliances [10, 15].

There prevails a tendency to think that orthodontists have a lower risk of disease compared to professionals in other fields of dentistry. However, previous studies have shown that 5 min after the start of fixed appliance removal, there is a large increase in bioaerosol levels as compared to that during pre-procedure baseline levels [10]. Therefore, it is not surprising that during this pandemic, telemedicine has been incorporated into dental care protocols. [16].

Due to the lack of knowledge generated by the COVID-19 pandemic, this study aims to assess the dispersion during orthodontic treatments objectively and quantitatively and to facilitate the implementation of evidence-based protocols to treat patients more safely and protect the practitioner.

This study objectively establishes the risk level of inhaling bioaerosols in orthodontic practice. Along with future research, it will help to establish which measures should be implemented during patient care in the dental office. For instance: establishing protocols for air renewal, capacity limitations, the use of air purifying filters and dehumidifiers, clinical performance protocols that pay special attention to those procedures that generate greater particle dispersion etc.

Methods

A prospective experimental study was carried out in which, using a particle counter, a convenience sample of 98 consecutive shots was collected from patients who attended the clinic of the University Master's Degree in Orthodontics of University Alfonso X EL Sabio, between the 10th of September 2020 and the 4th of December 2020. The study was carried out in a single box located in the centre of the university polyclinic. This site was characterised by a semi-open air-conditioned room on the third floor of the dental specialties building with air conditioning provided by forced air renewal without mixing. The air-conditioning system did not have a split system. The floor was also used for activities related to the master's degree in paediatric dentistry.

This pilot study included all patients with appointments who gave their consent for the study to be carried out. This research followed a protocol in accordance with the Helsinki Declaration for medical research and was approved by the Research Ethics Committee of the Faculty of Health Science of the University Alfonso X EL Sabio (approval no.2020-44/006).

The registered procedures are those that are carried out in a fixed appliance orthodontic revision. These include changing arch wires, bonding of fallen brackets, placing

accessory attachments for biomechanics, placing ligatures and taking impressions. In all cases, the water–air syringe was used at some point; in some cases, a low-speed rotary instrument without aerosol was used.

In the control group, each day of the experiment, the number of particles contained in 1 L of air was recorded before starting the clinical care activity.

In the experimental group, particle number recordings were made on patients seen consecutively on the days of the investigation.

The patients were treated according to the recommendations issued by the Spanish General Dental Council for dental treatment in times of pandemic [17].

Patients were treated by a single operator to avoid bias due to different uncalibrated operators, and an airborne particle measurement was performed at a height of 1.5 m above the ground and 0.5 m from the patient's head.

Two measurements were made for each patient treated. Prior to any procedure, an initial measurement was made with the patient seated without a mask and without aerosol-generating instruments in operation. The other measurement consisted of a recording of the particles generated every minute during the treatment, choosing the minute in which the maximum particle size of 0.3 micron was present.

In each of the measurements, the particles of 0.3 micron, 0.5 micron, 1 micron, 2.5 microns, 5 microns and 10 microns, temperature (T°) and relative humidity (RH) contained in 1 L of air every minute were recorded. The device used was the TROTEC® cleanroom particle counter model 220 (ISO 21501-4) calibrated by the manufacturer and adjusted to measure the particles contained in 1 L of air.

To verify the record obtained, the procedures were recorded on video with a count superimposed on the image (recording function of the instrument).

Statistical analysis was performed using the IBM-SPSS-25 software application (IBM Corp; released 2017; IBM SPSS Statistics v 25.0 for Windows; Armonk, NY, USA). Data analysis was performed by using the software program SPSS for Windows (version 25.00; SPSS, Armonk, NY).

Results

Descriptive analysis

First, an exploratory and descriptive study of 8 quantitative variables was carried out at 3 different times: (a) control measurement: $n=74$, (b) measurement of patients at the beginning of treatment: $n=98$ and (c) measurement of the same patients during treatment: $n=98$.

The variables were tested for normal statistical distribution using skewness and Kurtosis indices as well as the Kolmogorov–Smirnov (KS) goodness-of-fit test.

Additionally, a normal Q-Q plot was used as a visual indicator of fit.

The results of this exploration are summarized in Table 1. The following observations were made:

- In the control measurement, almost all variables collected on the number of particles of different sizes are normally distributed ($p>0.05$ in the KS test). Likewise, the relative humidity tends towards normality. Only two variables—particles $>10\mu$ and ambient temperature—have significant deviations ($p<0.01$) although their Q-Q plots reveal that they are quite small in distance to the normal model.
- During the initial measurement of the patient group, some asymmetries were seen in the particle size; nevertheless, the deviations according to the KS goodness-of-fit test, although significant ($p<0.05$), are slight and therefore tolerable. Only for the 2.5-micron particle size variable, the deviation is highly significant ($p<0.01$), and the Q-Q graph confirms this lack of statistical normality.
- In the measurements taken during orthodontic treatment, in most of the variables, deviations do not reach statistical significance ($p>0.05$) in the KS test, which allows us to accept their normality. Only for relative humidity, a significant deviation ($p<0.01$), confirmed by its Q-Q graph, prevents us from accepting that it follows the Gaussian normal model.

Therefore, most of the variables obtained are normally distributed or clearly tend to statistical normality. Owing to this statistical normality, parametric tests were chosen.

Second, we proceeded to carry out a study using classical descriptive statistics for this whole set of variables (see Table 2).

Differential analysis

Owing to the tendency of most of the variables towards normality, parametric tests—1-factor ANOVA—were used, except in the assumptions of non-normality, where the results provided by the parametric tests were checked against their non-parametric alternative—the Mann–Whitey or Wilcoxon test. Statistical significance was present in all the results.

Table 3 shows the comparison of the variables studied at the control time with those studied at the "start of treatment" time. The main findings were that the number of particles, of any size, is much higher in the initial situation than in the control group ($p<0.001$). There were also significant differences ($p<0.01$) in both the ambient temperature and relative humidity, which increased with respect to the control measurement.

Table 1 Exploratory analysis. Adjustment to statistical normality of the variables

Status	Variable	Exploration: Form Asimetry	Curtosis	KS Test Value	p-value
CR (N = 74)	Particles 0.3μ	1.00	2.26	0.09 ^{NS}	.515
	Particles 0.5μ	0.49	0.49	0.06 ^{NS}	.927
	Particles 1μ	0.64	0.18	0.08 ^{NS}	.668
	Particles 2.5μ	0.72	1.92	0.09 ^{NS}	.524
	Particles 5μ	0.27	− 0.08	0.11 ^{NS}	.288
	Particles 10μ	0.65	0.47	0.22**	.002
	Temperature (°C)	− 0.35	− 1.30	0.27**	.000
AR (N = 98)	Relative humidity (%)	0.67	− 0.76	0.17 *	.025
	Particles 0.3μ	0.45	− 0.43	0.08 ^{NS}	.549
	Particles 0.5μ	1.20	1.05	0.12 ^{NS}	.101
	Particles 1μ	1.29	1.20	0.16 *	.010
	Particles 2.5μ	1.28	0.91	0.18**	.003
	Particles 5μ	1.42	2.55	0.14 *	.042
	Particles 10μ	1.95	5.19	0.16 *	.013
BR (N = 98)	Temperature (°C)	− 0.09	− 0.16	0.15 *	.019
	Relative humidity (%)	− 0.84	− 0.18	0.20 ^{NS}	.001
	Particles 0.3μ	0.32	− 0.52	0.07 ^{NS}	.696
	Particles 0.5μ	0.75	0.21	0.10 ^{NS}	.274
	Particles 1μ	0.78	− 0.09	0.13 ^{NS}	.062
	Particles 2.5μ	0.94	0.43	0.13 ^{NS}	.083
	Particles 5μ	1.04	0.42	0.14 ^{NS}	.052
	Particles 10μ	1.09	0.36	0.15 *	.019
	Temperature (°C)	− 0.02	− 0.40	0.15 *	.024
	Relative humidity (%)	− 0.81	− 0.09	0.19**	.001

NS non-significant deviance ($p > .05$); the variable is normally distributed

*Significant but slight deviation ($p < .05$); the variable tends towards the normal pattern

**Significant severe deviation ($p < .01$); the variable does not conform to normality

It has been found (Table 4) that there are highly significant differences ($p < 0.001$) in the number of particles, of any of the sizes, which are equivalent to effect size again very large and higher than the previous ones (50.0%–57.6%). Since the average values are clearly higher in the end-of-treatment situation, it can be stated that there is a very strong statistical evidence to affirm that at the end of the treatment the number of particles of any size is much higher with respect to the control measurement. At the same time, it is observed that there is also an increase in temperature ($p < 0.001$; large effect: 17.5%), as well as a significant ($p < 0.05$ effect 3.7%) but smaller increase in RH.

Finally, when comparing the average values of the measurements taken at the end of the session with those at the beginning (Table 5), highly significant differences ($p < 0.001$) are still found in all the variables, with the values always being higher at the end; except in HR where they are equal or lower. The effect size expressing the magnitude of the changes is much higher in the smallest

particles variable (56.8%) compared to the effects of the rest of the variables (< 30%) although always being large or very large effects (between 17.7% and 29.1%). Consequently, we have very solid statistical evidence to be able to affirm that the number of particles increases at the end of the session with respect to the beginning; especially of the smallest ones (< 0.3μ). Likewise, we have sufficient evidence to affirm that the temperature increases ($p < 0.001$; effect of 28.8%) and that the RH. is reduced ($p < 0.001$ and effect of 26.7%).

If we compare the time of treatment with the control (Table 6), we find highly significant differences ($p < 0.001$) in the number of particles, of any size, that are equivalent to the effect size, again very large and higher than the previous ones. Therefore, we can state that during the treatment, the number of particles of any size is much higher than that during the control measurement. Temperature increased greatly from the time of control to the time of treatment and relative humidity increased at a lower rate than that existed before.

Table 2 Descriptive analysis of the variables in each of the 3 measurements

Status	Variable	Centricity		Median	Range (Min./Max.)	Variability	
		Mean	95% CI of the mean			Standard deviation	Interquartile range
CR (N = 74)	Particles 0.3μ	6064.5	5936.1/6265.8	6007.0	4585/91.24	869.0	1049.8
	Particles 0.5μ	1760.1	1690.2/1830.0	1770.0	1192/257.0	301.6	354.5
	Particles 1μ	368.2	347.1/389.3	354.0	210/634	91.1	11.0
	Particles 2.5μ	61.1	56.8/65.3	60.5	18/129	18.4	20.5
	Particles 5μ	5.1	4.6/5.6	5.0	1/12	2.3	4.0
	Particles 10μ	3.2	2.8/3.5	3.0	0/8	1.6	2.0
	Temperature (°C)	22.2	22.0/22.4	22.0	21.0/23.0 5	0.8	1.0
AR (N = 98)	Relative humidity (%)	42.8	41.9/43.6	42.0	39.0/52.0	3.6	7.0
	Particles 0.3μ	17,558.5	16,015.8/19,101.2	16,606.5	4127/39,797	7694.8	12,561.3
	Particles 0.5μ	7715.2	6894.6/85,35.8	6571.5	1798/20,353	4092.9	5220.0
	Particles 1μ	2077.7	1843.2/2312.1	1728.0	559/5660	1169.6	1448.8
	Particles 2.5μ	471.0	414.2/527.8	377.0	104/1250	283.4	293.5
	Particles 5μ	40.9	35.9/46.0	33.5	7/129	25.2	30.3
	Particles 10μ	27.2	23.7/30.8	24.0	6/96	17.6	21.3
BR (N = 98)	Temperature (°C)	22.7	22.5/22.9	23.0	20.0/24.9	1.6	1.3
	Relative humidity (%)	46.3	44.7/47.9	48.2	28.0/58.8	8.0	10.0
	Particles 0.3μ	22,726.2	20,840.8/24,611.6	21,933.5	4991/45,021	9404.1	12,556.5
	Particles 0.5μ	9107.9	8250.0/9965.8	8881.2	2134/22,112	4279.1	5690.3
	Particles 1μ	2448.9	22,004.5/2693.3	2379.5	731/5855	1219.0	1730.3
	Particles 2.5μ	566.2	504.0/628.3	546.0	129/1508	309.8	433.8
	Particles 5μ	59.2	52.1/66.4	56.9	10/164	35.6	42.0
	Particles 10μ	37.9	33.5/42.4	36.4	10/95	22.4	27.5
	Temperature (°C)	23.1	22.9/23.3	23.1	20.0/25.5	1.1	2.0
	Relative humidity (%)	45.3	43.7/46.9	45.6	27.0/60.0	7.9	8.4

Table 3 Inferential analysis. Intergroup comparison of the variables recorded. During vs. control

Variables	Mean (SD)/Median		ANOVA		Effect size: R ²	Mann-Whitney test	
	AR (N = 98)	Control (N = 74)	F-value	p		Value	p
Particles 0.3μ	17,558.5 (7694.8)/16606.5	6064.5 (869.0)/6007.0	163.31**	.000	.490	10.63**	.000
Particles 0.5μ	7715.2 (4092.9)/6571.5	1760.1 (301.6)/1770.0	155.80**	.000	.478	11.11**	.000
Particles 1μ	2077.7 (1169.6)/1728.0	368.2 (91.1)/354.0	157.14**	.000	.480	11.20**	.000
Particles 2.5μ	471.0 (283.4)/377.0	61.1 (18.4)/60.5	154.15**	.000	.476	11.21**	.000
Particles 5μ	40.9 (25.2)/33.5	5.1 (2.3)/5.0	148.21**	.000	.468	11.16**	.000
Particles 10μ	27.2 (17.6)/24.0	3.2 (1.6)/3.0	137.32**	.000	.447	11.23**	.000
Temperature (°C)	22.7 (1.0)/23.0	22.2 (0.8)/22.0	13.88**	.000	.075	3.61**	.000
Rel. humidity. (%)	46.3 (8.0)/48.2	42.8 (3.6)/42.0	12.10**	.001	.066	4.66**	.000

**Highly significant

On comparing the baseline group and the treatment group, we found that particles of all sizes increase significantly while relative humidity remains the same or decreases and the temperature increases. The variations among the smallest particles (0.3 micron) are especially significant (Fig. 1).

To test the correlation between relative humidity and particle size, statistical modelling with General Model Regression Equations was used. The degree of fit of the data to predictive models was checked with the following relationships: linear, quadratic, cubic, logarithmic, inverse, potential and exponential.

Table 4 Inferential analysis. Intergroup comparison of the variables recorded. During vs. control

Variables	Mean (SD)/Median		ANOVA		Effect size: R ²	Mann-Whitney test	
	BR (N = 98)	Control (N = 74)	F-value	p		Value	p
Particles 0.3μ	22,726.2 (9404.1)/21933.5	6064.5 (869.0)/6007.0	230.48**	.000	.576	10.93**	.000
Particles 0.5μ	9107.9 (4279.1)/8195.0	1760.1 (301.6)/1770.0	217.08**	.000	.561	11.20**	.000
Particles 1μ	2448.9 (1219.0)/2091.0	368.2 (91.1)/354.0	214.39**	.000	.558	11.21**	.000
Particles 2.5μ	566.2 (309.8)/474.0	61.1 (18.4)/60.5	195.84**	.000	.535	11.21**	.000
Particles 5μ	59.2 (35.6)/48.5	5.1 (2.3)/5.0	169.99**	.000	.500	11.21**	.000
Particles 10μ	37.9 (22.4)/30.0	3.2 (1.6)/3.0	178.03**	.000	.512	11.25**	.000
Temperature (°C)	23.1 (1.1)/23.0	22.2 (0.8)/22.0	36.11**	.000	.175	5.42**	.000
Rel. Humidity. (%)	45.3 (7.9)/47.5	42.8 (3.6)/42.0	6.46*	.012	.037	4.04**	.000

*Significant

**Highly significant

Table 5 Inferential analysis. Intra-group comparison of variables recorded. During vs. initial

Variables	Mean (SD)/median		ANOVA		Effect size: R ²	Mann-Whitney test	
	BR (N = 98)	AR (N = 98)	F value	p		Value	p
Particles 0.3μ	22,726.2 9404.1/21933.5	17,558.5 (7694.8)/16606.5	127.33**	.000	.568	8.52**	.000
Particles 0.5μ	9107.9 (4279.1)/8195.0	7715.2 (4092.9)/6571.5	33.47**	.000	.257	5.99**	.000
Particles 1μ	2448.9 1219.0/2091.0	2077.7 (1169.6)/1728.0	26.88**	.000	.217	4.93**	.000
Particles 2.5μ	566.2 (309.8)/474.0	471.0 (283.4)/377.0	20.92**	.000	.177	4.34**	.000
Particles 5μ	59.2 (35.6)/48.5	40.9 (25.2)/33.5	39.89**	.000	.291	5.76**	.000
Particles 10μ	37.9 (22.4)/30.0	27.2 (17.6)/24.0	35.46**	.000	.268	5.86**	.000
Temperature (°C)	23.1 (1.1)/23.0	22.7 (1.0)/23.0	39.19**	.000	.288	5.38**	.000
Rel. humidity. (%)	45.3 (7.9)/47.5	46.3 (8.0)/48.2	35.36**	.000	.267	5.37**	.000

**Highly significant

Table 6 Correlational analysis. Potential Regression Models, predictors of the number of particles of each size, from the relative humidity. Initial situation. (N = 98)

Predictive variable	R ² adjust	Contrast test		Coefficient	SE
		Value	p-value		
Particles 0.3μ	.998	219.03**	.0000	2.53	± 0.427
Particles 0.5μ	.998	207.30**	.0000	2.31	± 0.432
Particles 1μ	.996	164.21**	.0000	1.96	± 0.452
Particles 2.5μ	.994	125.44**	.0000	1.57	± 0.474
Particles 5μ	.975	61.69**	.0000	0.93	± 0.568
Particles 10μ	.972	57.95**	.0000	0.82	± 0.537

**Highly significant

Table 6 contains the results of the prediction of the number of particles of different sizes measured in the AR situation from the current relative humidity value in the room. These results, first of all, constitute a significantly strong statistical proof of the direct relationship

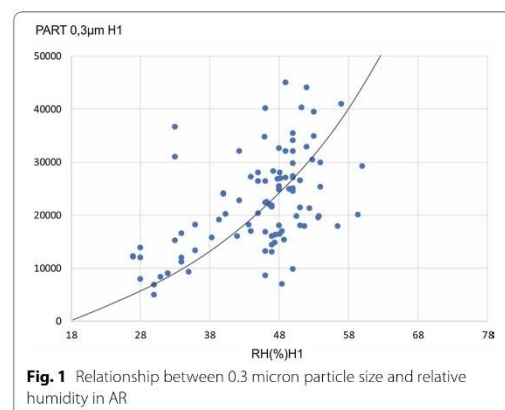


Fig. 1 Relationship between 0.3 micron particle size and relative humidity in AR

between relative humidity and the number of particles, i.e., the higher the relative humidity in a room, the more the number of particles. This relationship is

not linear but potentially of the type $Y = Xb \pm \epsilon$. In the models presented, the degree of adjustment of this type of mathematical model to the empirical data collected in the initial measurement situation appears significant (always above 97% and even above 99%). From particle size of 5 microns onwards, the smaller the particle size, the better the fit, with best fit at the smallest particle size of 0.3 and 0.5 micron. The potential coefficients (b) of these models decrease in value as the particle size increases, while the margin of error increases.

The results of the same study carried out with the variables collected from BR are presented in Table 7. As can be seen, despite the significant variations between the two measurement situations, the results are comparable. In other words, a potentially direct relationship between the relative humidity of the room and the number of particles observed is maintained. Both values of the coefficients and the standard errors of each of the models are comparable to those obtained in AR.

Having shown that there is an increase in the number of particles during the treatment with respect to the number that existed during initial measurement, we proceeded to determine the relationship between relative humidity and this trend. To this end, a variable was generated that expresses the magnitude of the difference in the values of the change in the number of particles of each size. Subsequently, the relationship of these differential variables with relative humidity, both in AR and BR, was studied. The best fitting model is the linear model, with direct correlation, i.e., a higher value of relative humidity corresponds to a greater differential increase (BR-AR) between the number of particles. The fits of these models are significantly lower than those found in the previous models but still maintain their high significance, especially for smaller particle sizes.

Table 7 Correlational analysis. Potential Regression Models, predictors of the number of particles of each size, from the relative humidity. Situation during. (N = 98)

Predictive variable	R ² adjust	Contrast test		Coefficient	SE
		Value	p-value		
Particles 0.3μ	.998	227.11**	.0000	2.61	±0.433
Particles 0.5μ	.998	197.19**	.0000	2.37	±0.452
Particles 1μ	.997	167.64**	.0000	2.02	±0.454
Particles 2.5μ	.994	122.67**	.0000	1.63	±0.500
Particles 5μ	.980	68.74**	.0000	1.03	±0.563
Particles 10μ	.977	63.74**	.0000	0.92	±0.540

**Highly significant

Discussion

In the present study, the concentration of aerosols was measured during routine procedures in an orthodontic appointment, bearing in mind that the risk of virus transmission depends on the number of particles and their properties.

From the results obtained in this study, the number of particles, especially the smaller ones, increases from the time of control with an empty room compared to the time of the beginning of the treatment. At this point, no aerosol-generating device had yet been used, suggesting that the changes in particle number were related to unintentional particle input by the operator and/or the patient. This variation of more than 300% in the number of particles is important as it indicates that some of the measured particles are not exclusively generated by the treatment. Whether or not they contribute to an infectious environment is more difficult to determine. Some of the particles found at the initial stage may be the product of respiratory acts and therefore may also be infectious [18]. In such acts, temperature and relative humidity play a modulating role in the formation and number of particles of different sizes.

During the procedures performed, in which air and water syringe and slow handpiece without irrigation were used, which are considered procedures capable of generating aerosols on their own, the particles increased equally. However, these particles have a different characteristic from those of the previous group, and they may have been in contact with the patient's own infectious particles located in the saliva and respiratory tract. In dentistry, the importance of aerosol control for the prevention of cross-infection of health care personnel has been known for many years [19]. Most articles refer to the characterisation of aerosol in restorative procedures and dental surgery. One of the main limitations when investigating dental aerosol is that almost all the articles have characterised it as an element that transmits bacteria, rather than studying it, possibly due to technical difficulties, as an element that transmits viral pathogens [20, 21]. The possible spread of bacteria such as *Mycobacterium tuberculosis* would therefore only imply the need for the widespread use of FFP2 masks instead of the commonly used surgical masks [21].

Within the field of dentistry, the COVID-19 era and its transmission routes have reignited the debate on the argument that the orthodontic treatments pose the least risk to the practitioner [10]. Thus, although general dentists, especially oral and maxillofacial surgeons, were reported as high-risk practitioners at the beginning of the pandemic by the US Department of Labor, they did not fall into the high-risk head group [11, 22].

It is worth noting the orthodontists had to continue caring for patients who had previously started treatments that could not be postponed, as can be done for other dental treatments, and required supervision and maintenance [12]. This itself increased the risk of infection for orthodontists during a period of ignorance about the routes of transmission of the virus and a shortage of appropriate personal protective equipment. Studies should be carried out to assess the risk for each dental specialty [23].

In this context, an important finding has been that with increasing temperature, the size of the generated particles decreases, probably due to dehydration of the larger particles. Size is an important factor affecting the possible transmission of SARS-CoV-2. However, despite all the progress that has been made in understanding the routes of transmission of SARS-CoV-2, airborne transmission is not fully understood and recognised. Since the size of the virus is between 60 and 140 nm, the virus has potential presence and permanence in aerosols [24, 25].

Significantly high SARS-CoV-2 viral loads have been found in the saliva of coronavirus-positive patients, even in asymptomatic patients [26]. Currently, little importance is given to smaller particles, not since these can remain in suspension for long periods of time compared to the 30 s that particles larger than 10 microns are retained [21]. Thus, the importance of direct transmission caused by larger particles at proximity to the source of contamination or transmission via fomites is acknowledged, but less direct and later transmission caused by smaller particles is underestimated [6, 13, 27].

Given the debate on what effect different seasons would have on the development of the pandemic, with the characteristic changes in temperature and humidity, this study was conducted from September to December. This resulted in variations in outdoor and indoor relative humidity that should be correlated to determine the influence of climate on particle dispersion [2, 18, 28].

The influence of relative humidity and temperature on virus survival in aerosols is a controversial issue. For more than 50 years, it has been advocated that increasing indoor relative humidity decreases virus survival [18]. In contrast, Dbouk and Drikakis [29] used 3D computer simulations to indicate that viruses survive in environments with high relative humidity. Thus, a combination of high temperature and low relative humidity leads to a significant reduction in virus viability and penetration.

The effects of relative humidity and temperature should be investigated to limit disease transmission and to avoid future surges caused by exposure to bioaerosols [30, 31]. The role of social distance, the use of appropriate masks and the control of indoor air quality are essential factors

to reduce virus transmission in both public and private places [4, 30–32].

In the context of the sudden onset of the pandemic, there is still little literature on the viability of SARS-CoV-2 in aerosols, but it has been estimated that it is possible to maintain infectivity for hours indoor (9, 26, 32).

Conclusions

This pilot study shows the significant increase in number of particles starting from the moment the patient enters the dental cabinet and removes the mask compared to those that existed during the basal environmental particles that may be found earlier. Regarding the particles generated during treatment, the main finding is an increase in particles of 0.3 micron.

The number of particles, especially smaller ones, increases from the time of control time with an empty room compared to the beginning of the treatment time (300%). This is important as it indicates that some of the measured particles are not exclusively generated by the treatment.

In addition, a correlation between the relative humidity of the medium and particle formation is observed, with greater formation of particles of different sizes when conditions are more humid, which is reported to be more favourable for virus survival.

One of the possible measures to be considered is the modification of environmental settings through climate control. Increased temperature can lead to dehydration and a decrease in the size of the particles generated compared to other large particles. In addition, these particles modelled in some studies may have been inactivated earlier under conditions of increased temperature due to dehydration as well as possibly due to pH changes.

Further studies are needed to establish which measures should be implemented during patient care in the dental office, such as protocols for air renewal, capacity limitations, use of air purifying filters, use of dehumidifiers, conducting the study in clinics with different ventilation systems or in different geographic locations with different climatic condition.

Abbreviations

AR: At the beginning; BR: During the appointment; CR: Control record; RH: Relative humidity.

Acknowledgements

Not applicable.

Authors' contributions

AC conceived and designed the analysis helped in data collection and wrote the paper. IM collected the data and wrote the paper. JD, VT and IN wrote the paper. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

Not applicable.

Availability of data and materials

The data that support the findings of this study are available from the corresponding main author, upon reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

All participants in the study have been informed and have given their prior consent to be included in the study. This research has been approved by the ethical committee of the University Alfonso X El Sabio. The study protocol was carried out in accordance with the Declaration of Helsinki. Parents of children under 16 were invited to participate in the study and asked to provide informed consent. Patients aged 16 or over were asked to participate in the study and provided informed consent themselves.

Consent for publication

All participants in the study have provided their consent to the use of their data for scientific purposes, including images and videos. Informed consent to publish pictures were signed by participants. No pictures of under 16 were taken.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹Department of Orthodontics, Universidad Alfonso X El Sabio, Madrid, Spain.

²Madrid Health Service, Madrid, Spain. ³Centro Odontológico de Innovación y Especialidades Avanzadas, Calle de Albarracín, 35, 28037 Madrid, Spain.

Received: 28 May 2021 Accepted: 8 July 2021

Published online: 21 July 2021

References

- Volgenant CMC, Persoon IF, de Ruijter RAG, de Soet JH. Infection control in dental health care during and after the SARS-CoV-2 outbreak. *Oral Dis*. 2020. <https://doi.org/10.1111/odi.13408>.
- Cervino G, Fiorillo L, Surace G, Paduano V, Fiorillo MT, De Stefano R, Laudicella R, Baldari S, Gaeta M, Cicciù M. SARS-CoV-2 persistence: data summary up to Q2 2020. *Data*. 2020;5(3):81. <https://doi.org/10.3390/data5030081>.
- Pan Y, Liu H, Chu C, Li X, Liu S, Lu S. Transmission routes of SARS-CoV-2 and protective measures in dental clinics during the COVID-19 pandemic. *Am J Dent*. 2020;33(3):129–34.
- Setti L, Passarini F, De Gennaro G, Barbieri P, Perrone MG, Borelli M, Palmisani J, Di Gilio A, Piscitelli P, Miani A. Airborne transmission route of COVID-19: why 2 meters/6 feet of inter-personal distance could not be enough. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(8):2932. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082932>.
- Peters A, Parnelx P, Otter J, Pittet D. Putting some context to the aerosolization debate around SARS-CoV-2. *J Hosp Infect*. 2020;105(2):381–2. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.04.040>.
- Morawska L, Milton DK. It is time to address airborne transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Clin Infect Dis*. 2020;71(9):2311–3. <https://doi.org/10.1093/cid/cia939>.
- Dbouk T, Drikakis D. On coughing and airborne droplet transmission to humans. *Phys Fluids*. 2020;32(5):053310. <https://doi.org/10.1063/5.0011960>.
- Lindsley WG, Blachere FM, Thewlis RE, Vishnu A, Davis KA, Cao G, Palmer JE, Clark KE, Fisher MA, Khakoo R, Beezhold DH. Measurements of airborne influenza virus in aerosol particles from human coughs. *PLoS ONE*. 2010;5(11):e15100. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015100>.
- Van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williams BN, Tamin A, Harcourt JL, Thornburg NJ, Gerber SI, Lloyd-Smith JO, de Wit E, Munster VJ. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med*. 2020;382(16):1564–7. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>.
- Dawson M, Soro V, Dymock D, Price R, Griffiths H, Dudding T, Sandy JR, Ireland AJ. Microbiological assessment of aerosol generated during debond of fixed orthodontic appliances. *Am J Orthodont Dentofacial Orthop*. 2016;150(5):831–8. <https://doi.org/10.1016/j.jado.2016.04.022>.
- D'Amico C, Bocchieri S, Stefano R, et al. Dental office prevention of coronavirus infection. *Eur J Dent*. 2020;14(5 01):S146–S151. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1715923>.
- Fiorillo L, Meto A, Cicciù F, De Stefano R. An eventual Sars-CoV-2 infection prevention protocol in the medical setting and dental office. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(5):2593. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052593>.
- Ong SWX, Tan YK, Chia PY, Lee TH, Ng OT, Wong MSY, Marimuthu K. Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. *JAMA*. 2020;323(16):1610–2. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.3227>.
- Gobierno de España, Ministerio de Sanidad y Consumo y Bienestar Social [Government of Spain, Ministry of Health, Consumption and Social Well-Being] (2018) Encuesta Nacional de Salud 2017 [National Health Survey 2017]. INE.
- Santos IR, Moreira AC, Costa MG, de Castellucci e Barbosa M (2014) Effect of 0.12% chlorhexidine in reducing microorganisms found in aerosol used for dental prophylaxis of patients submitted to fixed orthodontic treatment. *Dental Press J Orthodont* 19(3), 95–101. <https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.3.095-101.oar>.
- Cervino G, Oteri G. COVID-19 pandemic and telephone triage before attending medical office: Problem or opportunity? *Medicina (Kaunas)*. 2020;56(5):250. <https://doi.org/10.3390/medicina56050250>.
- Organización Colegial de Dentistas de España. Consejo de Dentistas [Spanish General Dental Council]. Plan Estratégico de Acción para el período posterior a la crisis creada por el COVID-19 [Strategic Plan of Action for the period after the crisis created by COVID-19] (2020) Abr.
- Fernstrom A, Goldblatt M. Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. *J Pathogens*. 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/493960>.
- Szymańska J. Dental bioaerosol as an occupational hazard in a dentist's workplace. *Ann Agric Environ Med*. 2007;14(2):203–7.
- Leggatt PA, Kedjarune U. Bacterial aerosols in the dental clinic: a review. *Int Dent J*. 2001;51(1):39–44. <https://doi.org/10.1002/j.1875-595x.2001.tb00816.x>.
- Bennett AM, Fulford MR, Walker JT, Bradshaw DJ, Martin MV, Marsh PD. Microbial aerosols in general dental practice. *Br Dent J*. 2000;189(12):664–7. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4800859>.
- "Work Context: Exposed to Disease or Infections?" *O*NET OnLine*, National Center for O*NET Development. [updated 2020 Nov; cited 2021 Feb 10] Available from: www.onetonline.org/find/descriptor/result/4.C.2.c.1.b.
- Din AR, Hindocha A, Patel T, Sudarshan S, Cagney N, Koched A, Mueller JD, Seoudi N, Morgan C, Shahdad S, Fleming PS. Quantitative analysis of particulate matter release during orthodontic procedures: a pilot study. *Br Dent J*. 2020;12:1–7. <https://doi.org/10.1038/s41415-020-2280-5>.
- Workman AD, et al. Airborne aerosol generation during endonasal procedures in the era of COVID-19: risks and recommendations. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2020;163(3):465–70. <https://doi.org/10.1177/0194599820931805>.
- Morawska L, Cao J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: the world should face the reality. *Environ Int*. 2020;139:105730. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>.
- Johansson MA, et al. SARS-CoV-2 transmission from people without COVID-19 symptoms. *JAMA Netw Open*. 2021;4(1):e2035057. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.35057>.
- Stadnytskyi V, Bax CE, Bax A, Anfimov P. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2020;117(22):11875–7. <https://doi.org/10.1073/pnas.2006874117>.
- Wu X, Nethery RC, Sabath BM, Braun D, Dominici F. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: a nationwide cross-sectional study. *medRxiv*. 2020 Apr 7:2020.04.05.20054502. <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20054502>.
- Dbouk T, Drikakis D. Weather impact on airborne coronavirus survival. *Phys Fluids*. 2020;32(9):093312. <https://doi.org/10.1063/5.0024272>.
- Yao M, Zhang L, Ma J, Zhou L. On airborne transmission and control of SARS-Cov-2. *Sci Total Environ*. 2020;731:139178. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139178>.

31. Correia G, Rodrigues I, Gameiro da Silva M, Gonçalves T. Airborne route and bad use of ventilation systems as non-negligible factors in SARS-CoV-2 transmission. *Med Hypotheses* 141, 109781. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2020.109781>.
32. Aboubakr HA, Sharafeldin TA, Goyal SM. Stability of SARS-CoV-2 and other coronaviruses in the environment and on common touch surfaces and the influence of climatic conditions: a review. *Transbound Emerg Dis*. 2020. <https://doi.org/10.1111/tbed.13707>.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions



RESEARCH

Open Access



Reduction by air purifier of particulate concentration during orthodontic procedures: a pilot study

Inmaculada Martín-Quintero^{1*}, Alberto Cervera-Sabater³, Jorge Cortés-Bretón Brinkmann^{3*},
Juan Manuel Aragonese-Lamas², Javier Flores-Fraile¹ and Juan Santos-Marino¹

Abstract

Background The SARS-CoV-2 pandemic has raised awareness of the importance of air quality. This pilot study arose from the need to reduce the concentration of particulate matter in the dental office during orthodontic procedures. To evaluate the efficacy of using an air purifier during orthodontic care in the dental office to reduce the concentration of ambient particulate matter.

Results Significant reductions in particle numbers were obtained for all particle sizes except the largest particles counted (10 µm) through use of the air filter. A marked association between higher humidity levels and higher particle counts was also observed.

Conclusions Using an air purifier during dental care achieves a significant reduction in the concentration of ambient particles in the dental office. There is a correlation between higher relative humidity and higher particle concentration. The probability of obtaining a maximum particulate concentration level of 0.3 and 0.5 µm is 1000 times lower when using an air purifier.

Keywords Bioaerosols, COVID-19, Dentistry, Orthodontics, SARS-CoV-2, air filters, Air Purifier

Background

In recent years, air quality has become an increasingly important concern and interest in the topic has grown exponentially since the outbreak of the SARS-CoV-2 pandemic [1]. The effects of environmental pollution on the quality of life and health of the population are well known [1, 2].

Strong short-term associations between particulate matter less than 10 µm (PM₁₀) and less than 2.5 µm (PM_{2.5}) and deaths from cardiovascular and/or respiratory causes have been observed in more than 600 cities worldwide, reinforcing the evidence for a correlation between particulate matter concentration and mortality [2–4].

*Correspondence:
Jorge Cortés-Bretón Brinkmann
jcortesb@ucm.es

¹Department of Surgery, Faculty of Medicine, University of Salamanca, Salamanca 37007, Spain

²Faculty of Dentistry, Universidad Alfonso X El Sabio, Villanueva de la Cañada 28961, Spain

³Department of Dental Clinical Specialties, Faculty of Dentistry, Complutense University of Madrid, Madrid 28049, Spain



© The Author(s) 2024. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Over the last century, the environment has become a source of air pollutants that include millions of nanoparticles that carry pathogens [2–4]. The proportion of nanoparticles in the surrounding environment influences our state of health significantly, as nanoparticles can enter our bodies through the respiratory tract, reach the bloodstream, and then the functional tissues [5]. Moreover, even a slight increase in exposure to higher concentrations of small particulate matter in the long term has been found to lead to a major increase in the COVID-19 mortality rate [2–5].

This highlights the importance of implementing air pollution regulations to protect people's health both during the COVID-19 crisis and thereafter [4, 5].

The SARS-CoV-2 virus is very stable at low temperatures but very sensitive to heat. The virus's dominant transmission route is respiratory [6]. Scientific evidence indicates that viruses that are found in aerosols are more transmissible under certain circumstances including indoor medical settings and poorly ventilated interiors [6–9]. However, indoor air quality (in workplaces, homes...) is not paid the attention it deserves. The exponential increase in respiratory diseases in Western society over the last forty years cannot be explained without placing indoor air quality high on the list of causes. Occupational exposure to pollutants is not limited to industrial or similar environments but has also been observed in many workplaces such as offices and other interior spaces [1, 5].

The pandemic has prompted a search for ways of ensuring a safer environment in dental offices. These include the use of air purifiers and early results indicate that they have a positive effect on indoor air quality [10]. Recent studies indicate that the use of HEPA filters significantly increase aerosol removal and decrease aerosol accumulation, especially in rooms with low ventilation rates [11, 12].

In the future, we are likely to see the emergence of strong evidence for the association between air pollution and COVID-19. Air quality may prove another tool at our disposal for assessing COVID-19 infectivity and patterns of future infection [9–11]. This could allow policy makers to establish proactive strategies for dealing with future pandemics, prioritizing regions with high air pollution. In this context, long-term strategies for air quality protection and enforcement are of great importance [7, 13–15]. At the same time, more studies are needed to validate the aerosol transmission of SARS-CoV-2 that would help our understanding of its infectivity and spreadability. This could help prevent outbreaks in indoor settings such as hospitals and other facilities by ensuring well-designed and efficiently ventilated healthcare environments [13, 16].

Recently, several studies have been conducted on particle concentration in dental offices, especially during everyday orthodontic practice. These have highlighted the importance of quantifying oscillations in particle concentrations. In addition, they have identified a number of variables that can be controlled to achieve safer concentration levels [17].

The aim of this study was to determine whether the use of air purifiers in the dental office during orthodontic procedures reduces the concentration of particulate matter in the environment significantly, and therefore the associated risks to patients and staff. If this hypothesis can be confirmed, a preliminary protocol could be established to reduce the number of indoor airborne particles in the dental office.

Methods

This experimental study was conducted during a series of 58 consecutive appointments scheduled for patients attending the clinic attached to the Master's Program in Orthodontics at the Alfonso X El Sabio University (Madrid, Spain), between April and May 2022.

Patients attending the clinic gave their consent for the study to be conducted during their appointments. The study design followed guidelines established in the Helsinki Declaration for medical research and was approved by the Bioethical Research Committee of the Faculty of Sciences of the University Alfonso X El Sabio (2022_1/118).

The study was carried out in a single room of limited size located at the center of the university dental specialties clinic. This space is open on one side and has a forced air renewal air conditioning system. Each dental cabinet is equipped with a ventilation unit. This unit filters the air that is introduced into the centre, providing automated scheduling for the air-conditioning system.

The dental cabinet is 2 m in height and has the dimensions specified in the floor plan in Fig. 1.

The procedures carried out during the patients' appointments consisted of revisions of fixed orthodontic appliances including changing archwires, cementing detached brackets, placing accessory attachments for biomechanics, placing ligatures, and taking impressions. In every case, a water-air syringe was used at some point, and in certain instances, a rotary instrument. High-speed rotary instruments were not used in any case; low-speed rotary instruments were only used when the procedures required it.

Patients were treated by a single clinician in order to avoid biases arising from a variety of uncalibrated operators. Airborne particle measurement was performed at a height of 150 cm and a separation of 50 cm from the patient's head.

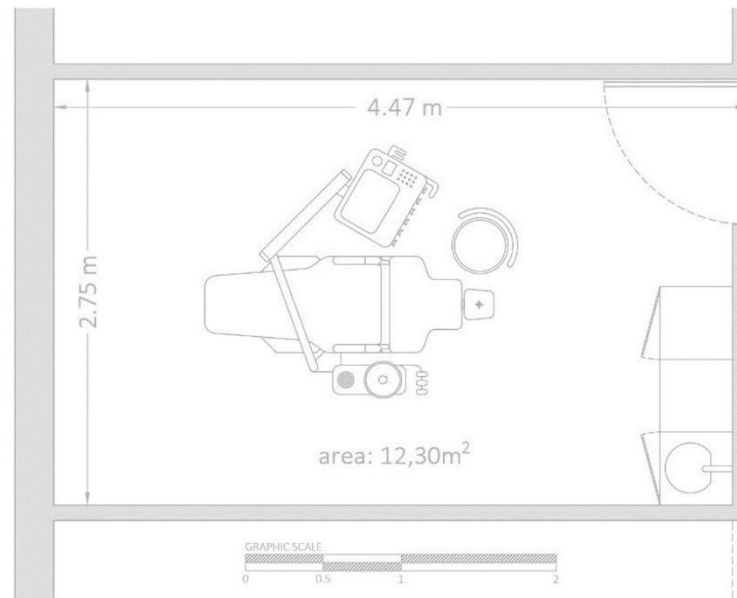


Fig. 1 Floorplan of the operation room

Measurement consisted of a continuous recording of the particles generated every minute during the session. The recording with the highest number of $0.3\ \mu\text{m}$ particles was selected for later comparison. At each measurement, the number of particles ($0.3\ \mu\text{m}$, $0.5\ \mu\text{m}$, $1\ \mu\text{m}$, $2.5\ \mu\text{m}$, $5\ \mu\text{m}$ and $10\ \mu\text{m}$) contained in 1 L of air every minute, temperature (T°), and relative humidity (RH) were recorded. Measurements were taken with the TROTEC® cleanroom particle counter model 220 (ISO 21501-4) calibrated by the manufacturer, adjusted to measure the particles contained in 1 L of air. The device is intended for measuring scattered light. To confirm the data obtained, the procedures were recorded on video with a count superimposed on the image (using the device's recording setting).

The records collected were divided into two groups. The control group consisted of records taken during the orthodontic session with the filter present but not turned on. The study group comprised data collected during sessions with the air filter in operation.

The air filter used was the BLOW100 with multistep HEPA filters in automatic operation mode. The decibel range of this device is 20.4–41.9 dB. The operator and the patient were unaware beforehand whether the filter was switched on or not. Even though the device is quite noiseless and operated during the care activity, making it

practically imperceptible, it cannot be confirmed whether or not they were aware of the device being on or off.

In order to minimize the influence of variations in environmental conditions on the data recorded, the day's work was randomly divided between study sessions and control sessions with the air filter operating or switched off. Neither the clinician nor the patient was aware of whether the filter was operating or not.

Statistical analysis was performed with: the SPSS V25, IBM Corp. 2017 statistical software package; and IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp. The Kolmogorov-Smirnov test was performed to test variables normality and determined parametric or non-parametric distribution. For comparing the two groups, Student's test was performed for parametric quantitative variables and Mann-Whitney U test for quantitative non-parametric variables, Spearman and Pearson's correlations were applied to analyze relationships between variables.

Results

The correlation between the use of filters (independent variable) and the number of $0.3\ \mu\text{m}$ particles (dependent variable), with a regression coefficient of -0.284, shows a negative or inverse trend. This means that with less filter usage, the number of $0.3\ \mu\text{m}$ particles increases,

Table 1 Table of correlation results between particle number, humidity, temperature, and filter use

Variables	Beta Unstan- dardized Coefficients	Beta Stan- dardized Beta Coefficients	p- value	95.0% C.I lower	95.0% C.I upper
0.3 µm vs. Filter use	-3107,077	-0,284	0,031	-	-
0.5 µm vs. Filter use	-1770,426	-0,296	0,024	-	-
1.0 µm vs. Filter use	-523,492	-0,292	0,026	-983,115	-63,868
2.5 µm vs. Filter use	-118,899	-0,262	0,047	-235,977	-1,821
5 µm vs. Filter use	-4,256	-0,211	0,112	-9,533	1,021
10 µm vs. Filter use	-5,897	-0,174	0,192	-14,846	3,051
Tempera- ture vs. Filter use	,251	0,129	0,334	-0,264	0,765
Humidity vs. Filter use	-2,194	-0,174	0,190	-5,509	1,121

Statistical tests: Student's T-test and Mann-Whitney U test. * Significant differences found, statistical significance was considered at $p < 0.05$

regression coefficient $r = -0.284$ ($p = 0.031$), statistically significant.

The correlation between the use of filters (independent variable) and the number of 0.5 µm particles (dependent variable), with a regression coefficient of -0.296, also shows a negative or inverse trend. This means that with less filter usage, the number of 0.5 µm particles increases, regression coefficient $r = -0.296$ ($p = 0.024$), statistically significant.

The correlation between the use of filters (independent variable) and the number of 1 µm particles (dependent variable), with a regression coefficient of -0.292, shows a negative or inverse trend. This means that with less filter usage, the number of 1 µm particles increases, regression coefficient $r = -0.292$ ($p = 0.026$), statistically significant.

The correlation between the use of filters (independent variable) and the number of 2.5 µm particles (dependent variable), with a regression coefficient of -0.262, shows a negative or inverse trend. This means that with less filter usage, the number of 2.5 µm particles increases, regression coefficient $r = -0.262$ ($p = 0.047$), statistically significant.

The correlation between the use of filters (independent variable) and the number of 5 µm, 10 µm particles and humidity (dependent variables), with a regression coefficient of -0.211, -0.174, -0.174, shows a negative or inverse trend. This means that with less filter usage, the number of 5 µm, 10 µm particles and increased humidity increase, regression coefficient $r = -0.211$, -0.174, -0.174 ($p > 0.050$), statistically not significant.

Table 2 Temperatures recorded in study group and control group

Group	Mean	SD	Median	Range	p-value
Filter	25.01	1.03	25.00	22.66–26.73	0.260
Control	24.76	0.92	24.86	23.22–27.10	0.260

Temperature in (degrees Celsius °C). Statistical test: Mann-Whitney U test

Table 3 Relative humidity in study and control group

Group	Mean	SD	Median	Range	p-value
Filter	33.27	5.27	33.00	22.50–45.45	0.191
Control	35.47	7.18	34.37	22.00–46.00	0.191

Statistical test: Student's T-test

Table 4 Correlation between humidity levels and particle size

Particle Size (µm)	Trend	Correlation Coefficient	p-value
0.3	Positiva	0.629	0.0001
0.5	Positiva	0.584	0.00001
1.0	Positiva	0.553	0.00007
2.5	Positiva	0.454	0.0003
5.0	Positiva	0.468	0.0002
10.0	Positiva	0.303	0.021

The Table 1 shows the correlation results obtained between the number of particles, humidity, and temperature.

During the recording sessions, mean temperature was 24.89 °C, SD±0.97, median 24.93, range 22.66–27.10. Table 2 shows the temperatures recorded in both the study group and control group. There was no significant difference between the groups (Mann-Whitney U test, $p = 0.260$, $df = 1$).

Mean relative humidity was 34.37%, SD±6.34, median 33.24, range 22.00–46.00. Table 3 shows relative humidity recorded in the study group and the control group. No significant difference was found between the groups (Student's T-test, $p = 0.191$, $df = 56$).

Comparison of the numbers of particles found in the control group and the study group exhibited statistically significant differences. Data analysis found a correlation between levels of relative humidity and the concentration of particles of different sizes (Table 4). It was also observed that the higher the relative humidity in the clinic, the higher the number of particles present.

Figure 2 shows the correlation between humidity levels and temperature. The trend was negative. The lower the temperature, the higher the humidity level. Correlation coefficient -0.271 , $p = 0.039$.

Lastly, multivariate analysis, logistic regression findings:

A logistic regression analysis is conducted to determine if there is a relationship between the variables and the usage of filters in the overall sample. In Table 5, significant variables are shown, being predictors (the presence of these variables increases or decreases the probability

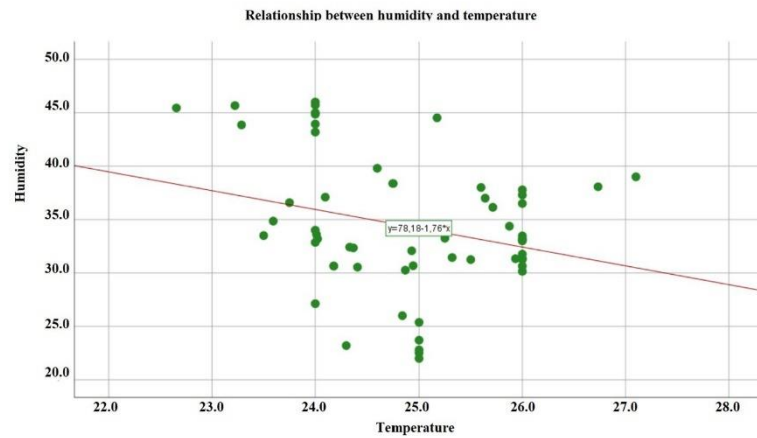


Fig. 2 Relationship between relative humidity and temperature

Table 5 Correlation analysis of filter usage based on particle size

		No	Yes	%	Chi-square	Nagelkerke R Square	Omnibus test p-value
Filter	No	15	14	51,72	5,203	0,114	0,023
	Yes	9	20	68,96			
	Overall Percentage			60,34			

Table 6 Shows the odd ratio (OR) of the studied variables at the 95% confidence interval

Variables	B coefficient beta	Wald Valid index	p-value: statistical significance	OR: Odd ratio	95.0% C.I lower	95.0% C.I upper
Particles 0.3 µm	0,0001	0,088	0,767	1,000	0,999	1,001
Particles 0.5 µm	0,001	0,107	0,743	1,001	0,997	1,004
Particles 1.0 µm	-0,001	4,462	0,035	0,999	0,999	1,000
Particles 2.5 µm	0,001	0,007	0,933	1,001	0,970	1,034
Particles 5.0 µm	0,091	0,943	0,332	1,095	0,911	1,316
Particles 10 µm	-0,004	0,002	0,965	0,996	0,843	1,177
Temperature	0,182	0,235	0,628	1,200	0,575	2,504
Humidity	0,012	0,037	0,848	1,012	0,898	1,139

of filter usage), Omnibus test ($p=0.023$), $R^2=5.20$, the logistic regression model predicts that 68.96% of filter usage and 51.72% without filter usage, making the logistic regression model suitable for analysis.

Logistic regression is carried out to demonstrate the relationship between the variables and the probability of presence and usage of the filter.

In Table 6 the OR, p -value, and 95% confidence interval of the independent variables that contribute to the probability of using the filter in the overall sample can be observed.

The following variables are associated with a greater probability of filter usage:

- A smaller number of 1.0 µm particles results in a 0.99 higher probability of filter usage ($p=0.035$).

- A smaller number of 10 µm particles results in a 0.99 higher probability of filter usage ($p=0.96$).

The following variables are associated with a lower probability of filter usage:

- A larger number of 0.3, 0.5, 2.5, and 5.0 µm particles results in a 1.0 lower probability of filter usage ($p>0.050$).
- Higher humidity and temperature result in a 1.2 lower probability of using the filter ($p>0.050$).

Subsequently, Fig. 3 depicts the logistic regression representing the correlation between the variables and the application of the filter.

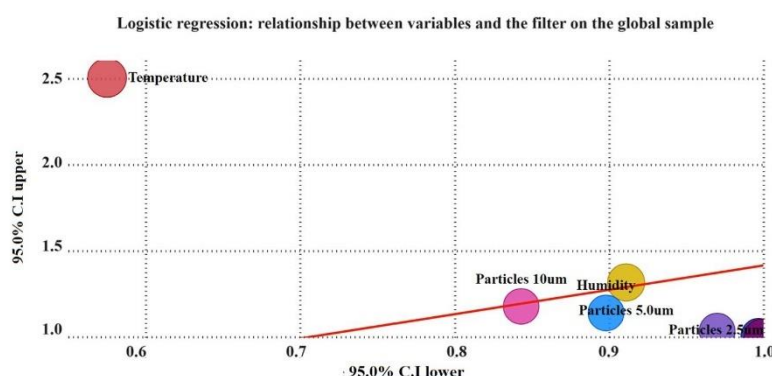


Fig. 3 Logistic regression: relationship between variables and the filter on the global sample

Discussion

The COVID-19 pandemic has brought attention to the importance of indoor air quality in healthcare settings, including dental clinics. Airborne diseases can pose a risk to both patients and healthcare professionals, making it crucial to explore measures to reduce indoor pollution. This study aimed to evaluate the impact of air filters and extraoral sweeping devices (EOS) on particle concentrations during daily orthodontic sessions. Understanding the relationship between temperature, humidity and particle concentration is vital, as it can influence the quality of the indoor environment and the transmission of pathogens [4, 5, 13, 16].

The present study measured the amount of particulate matter in the dental office during daily orthodontic sessions with and without the use of an air filter. The data collected in the two groups (study group with filter and control group without filter) were recorded on the same day, which avoided major variations in temperature and relative humidity. The stability of these variables was an important factor for comparing data between the two groups, as previous studies have shown that temperature affects humidity and humidity influences the concentration of larger particles [17–19]. The presence of larger particles diminishes indoor environmental quality, increasing virus transmissibility and virus survival rates [18].

Analyzing the present data confirmed the relationship between higher temperature levels and lower relative humidity levels. It was observed that as relative humidity decreased, there was a corresponding decrease in the concentration of particles of the different sizes counted [17, 18].

The systematic review of 517 articles by Mecenas P et al. found that COVID-19 transmission was favoured in warmer and more humid climates. However, the evidence found was of low quality due to the limited consistency

of the included studies [19]. Data were collected from a study group using an air filter and a control group without a filter, both on the same day to minimize temperature and humidity variations. Particulate concentrations were measured to assess the effectiveness of the air filter. As mentioned above the review by Mecenas et al. suggested a possible relationship between COVID-19 transmission and temperature and humidity levels, but more research is needed due to the heterogeneity of existing studies [19].

Since the SARS-CoV-2 pandemic, air quality – especially indoor air quality – has become an even important matter. While regulating environmental conditions influences many aspects of human health, COVID-19 has elevated this concern significantly among both healthcare professionals and patients. In the field of dentistry, COVID-19 disease and its transmission routes have reopened the debate about risks to dentists in various specializations. Orthodontics has always been considered one of the less risky practices because it does not involve much exposure to patients' blood. However, as the pandemic has again reminded us, airborne diseases also present a risk to the general population, to patients, and to all healthcare professionals, including dentists [20, 21].

Dental instruments generate aerosols that may pose risks to operators due to the transmission of pathogens, such as the SARS-CoV-2 virus [22]. Due to the SARS-CoV-2 outbreak, aerosol control in the dental office has become a critical safety issue in dentistry. The use of extraoral sweeping devices (EOSs) is one of several approaches to aerosol reduction during treatment in dentistry. Nevertheless, the application and efficacy of EOS in the dental environment is still debated in the literature and questions still remain open about their appropriate use. Therefore, further research in this area is essential to work towards a safer dental practice [23–25].

Nonetheless, the study by Yang M et al. concluded that the increase in the level of aerosols smaller than 10 µm was minimal during dental procedures when using the saliva ejector and high-speed suction [25].

In this context, the use of air filters may be a viable means of reducing the airborne transmission of pathogens [21, 26]. Duill et al. investigated the impact of air purifiers with HEPA filters on a school environment, obtaining positive reductions in bioaerosols [26]. At the same time, several studies have concluded that many air filters fail to remove respiratory aerosols effectively. But indoor air purifiers with High Efficiency Particulate Air (HEPA) filters may be used effectively to filter polluted indoor air providing the HEPA filters are replaced regularly [27].

Experimental studies in the literature agree that HEPA purifiers offer great potential to decontaminate, eliminate the airborne pathogen load, and improve indoor air quality. Normally, rooms should be left closed and unused for a short period after aerosol-generating procedures, but with a HEPA purifier this time can be reduced [21, 28].

Lednický et al. assessed the capability of HEPA filters to efficiently capture and remove SARS-CoV-2 viral particles in a simulated laboratory environment. The results indicated that HEPA filters achieved effective removal of viral particles, supporting their role in preventing virus transmission in indoor spaces [28].

The study by Allen et al. evaluated the effectiveness of HEPA filters in reducing fine particulate matter (PM_{2.5}) and volatile organic compounds (VOC) in residential homes. The results showed a significant decrease in PM_{2.5} and VOC levels after the installation of HEPA filters in heating and air conditioning (HVAC) systems. This reduction in pollutant levels can have a positive impact on the respiratory health of the occupants of these spaces [29].

The systematic review by Liu et al. demonstrated portable HEPA purifiers to be effective in the removal of SARS-CoV-2 viral particles in indoor air. However, their use is recommended in combination with other preventive measures to maximize effectiveness in reducing the risk of COVID-19 transmission in enclosed spaces [30].

Tzoutzas et al. concluded that good ventilation and the use of air purifiers can improve air quality, observing a reduction in concentration levels of 2.5 µm particulate matter in a university dental clinic during standard dental care activities [31].

Although the epidemiological characteristics of SARS-CoV-2 have not been fully clarified, there are indications that it spreads more during winter, pointing to the influence of temperature and humidity. Elsaid et al. recommend a room temperature of 25–27 °C and replacing HEPA filters with nano-fiber air filters or electrostatic filters in central air conditioning systems [32].

The afore mentioned is consistent with the findings of the study by Yang M [25], Fenelly et al. which concluded that properly placed high-volume evacuation and local exhaust ventilation is effective in avoiding the airborne spread and permanence of inhalable particles from dental procedures [33].

Dental offices are potential sources of aerosols carrying pathogens such as SARS-CoV-2 virus. Aerosol control measures are crucial to maintain the safety of healthcare personnel and patients. The use of EOS and high-speed suctioning during dental procedures has been shown to minimize the spread of aerosols. However, the application and efficacy of EOS in dental settings is still under debate in the literature [10, 17, 18, 34].

Further studies are needed to establish effective measures and protocols for reducing the concentration of particulate matter in dental offices [21, 24]. If we are to improve the environmental quality in dental offices, in addition to testing air filters like the one evaluated here, research should also focus on the impact of the continuous use of dental suction systems and the use of dehumidifiers.

Conclusions

In this pilot study, significant correlations were found between the use of the filter (BLOW100 air purifier with multistage HEPA filters) in daily orthodontic consultations and the number of particles of different sizes. The results suggest that less frequent use of the filter corresponds to an increase in these particles in the air. These results indicate that smaller particle counts and lower humidity and temperature correlate positively with filter usage.

Further studies are needed that aim to improve air quality in dental offices and make them a healthier environment for both staff and patients.

Acknowledgements

Not applicable.

Author contributions

For research articles with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. Conceptualization, I.M.Q. and A.C.S.; methodology, A.C.S.; software, A.C.S.; validation, I.M.Q. and A.C.S.; formal analysis, I.M.Q. and A.C.S.; investigation, I.M.Q.; resources, I.M.Q.; data curation, I.M.Q. and A.C.S.; writing—original draft preparation, I.M.Q. and J.C.B.; writing—review and editing, J.S.M., J.F.F. and J.A.L.; visualization, J.S.M., J.F.F. and J.A.L.; supervision, J.S.M., J.F.F. and J.A.L.; project administration, J.S.M., J.F.F. and J.A.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

This research received no external funding.

Data availability

The datasets used and/or analysed during the current study available from the corresponding author on reasonable request.

Declarations

Ethical approval human and animal experiments

Participants included in this study were informed in advance and agreed to give their informed consent. This research project has been reviewed and approved by the ethics committee of the University Alfonso X El Sabio (2022_1/118). The protocol has been implemented according to the Declaration of Helsinki. All patients gave informed consent to participate in the study. In the case of minors under 16 years of age, informed consent was obtained from parents/legal guardians. Patients older than 16 years gave informed consent to participate in the study themselves. With their informed consent, all patients agreed to the use of the data collected for scientific purposes, including images and videos.

Limitations of the study

In this study we encountered the limitations of the sample size and those associated with the environmental conditions of air renewal or movement within the room. Due to the design of the study, we did not discriminate between the different procedures included in orthodontic revision appointments. No previous studies on environmental particles in an orthodontic practice prior to or during the current pandemic have been found in the literature. Laser devices, such as the one used, show greater measurement inaccuracies when measuring smaller particles. Consequently, we can expect larger errors in the measurements of these particles.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Received: 7 January 2023 / Accepted: 30 January 2024

Published online: 07 February 2024

References

- Calidad del Aire. Comunidad de Madrid. 2022. Available from: <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/calidad-aire>.
- Marquès M, Domingo JL. Positive association between outdoor air pollution and the incidence and severity of COVID-19. A review of the recent scientific evidences. *Environ Res*. 2022;203:111930. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111930>. Epub 2021 Aug 21. PMID: 34425111; PMCID: PMC8378989.
- Zang ST, Luan J, Li L, Yu HX, Wu QJ, Chang Q, Zhao YH. Ambient air pollution and COVID-19 risk: Evidence from 35 observational studies. *Environ Res*. 2022;204(Pt B):112065. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112065>. Epub 2021 Sep 15. PMID: 34534520; PMCID: PMC8440008.
- Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. *N Engl J Med*. 2019;381(8):705–15. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1817364>.
- Evaluación de las partículas suspendidas en el aire del gabinete dental con la aplicación de purificador de filtros [Internet]. *Gaceta Dental*. 2021 [cited 2022 Sep 2]. Available from: <https://gacetadental.com/2021/11/evaluacion-particulas-suspendidas-gabinete-dental-28219/>.
- Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Ferris A, Miller D, Weaver W, Zeitouni NE, Freeburger D, Dabisch P, Wahl V, Hevey MC, Altamura LA. SARS-CoV-2 is rapidly inactivated at high temperature. *Environ Chem Lett*. 2021;19(2):1773–7. Epub 2021 Feb 3. PMID: 33551702; PMCID: PMC7856623.
- Wu X, Nethery RC, Sabath BM, Braun D, Dominici F. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. *medRxiv*. 2020; <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20054502>.
- Meyerowitz EA, Richterman A, Gandhi RT, Sax PE. Transmission of SARS-CoV-2: a review of viral, host, and environmental factors. *Ann Intern Med*. 2021;174(1):69–79. <https://doi.org/10.7326/M20-5008>.
- Jarvis MC. Aerosol Transmission of SARS-CoV-2: Physical principles and implications. *Front Public Health*. 2020;8:590041. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.590041>.
- Tzoutzas I, Maltezou HC, Barmeparesos N, Tasios P, Efthymiou C, et al. Indoor air quality evaluation using mechanical ventilation and Portable Air Purifiers in an academic Dentistry Clinic during the COVID-19 pandemic in Greece. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(16):8886. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168886>.
- Hawrot H. What are the effects of portable air cleaners with a high-efficiency particulate air filter on aerosol removal in dental surgeries? *Evid Based Dent*. 2021;22(2):56–7. <https://doi.org/10.1038/s41432-021-0186-y>.
- Arriola-Villalobos P, Fernandez-Perez C, Ariño-Gutiérrez M, Fernandez-Vigo JI, Benito-Pascual B, Cabello-Clotet N, et al. Letter in response to article in journal of infection: high SARS-CoV-2 antibody prevalence among healthcare workers exposed to COVID-19 patients. *J Infect [Internet]*. 2020;81(3):e26–8.
- Al Huraimel K, Alhosani M, Kunhabdulla S, Stietiya MH. SARS-CoV-2 in the environment: modes of transmission, early detection and potential role of pollutions. *Sci Total Environ*. 2020;744:140946. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140946>.
- Peters A, Parneix P, Otter J, Pittet D. Putting some context to the aerosolization debate around SARS-CoV-2. *J Hosp Infect [Internet]*. 2020;105(2):381–2. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.04.040>.
- Morawska L, Milton DK. It is time to address airborne transmission of Coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Clin Infect Dis [Internet]*. 2020;81(3):e26–8. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>.
- Dhouk T, Drikakis D. On coughing and airborne droplet transmission to humans. *Phys Fluids (1994) [Internet]*. 2020;32(5):053310. <https://doi.org/10.1063/1.5011960>.
- Martín-Quintero I, Cervera-Sabater A, Tapias-Perero V, Nieto-Sánchez I, de la Cruz-Pérez J. Air particulate concentration during orthodontic procedures: a pilot study. *BMC Oral Health [Internet]*. 2021;21(1):361. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01725-7>.
- Walker MD, Vincent JC, Benson L, Stone CA, Harris G, Ambler RE et al. Effect of relative humidity on transfer of aerosol-deposited artificial and human saliva from surfaces to artificial finger-pads. *Viruses [Internet]*. 2022;14(5):1048. <https://doi.org/10.3390/v14051048>.
- Mecenas P, Bastos RTDRM, Vallinoto ACR, Normando D. Effects of temperature and humidity on the spread of COVID-19: a systematic review. *PLoS ONE*. 2020;15(9):e0238339. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238339>. PMID: 32946453; PMCID: PMC7500589.
- Dawson M, Soro V, Dymock D, Price R, Griffiths H, Dudding T, Sandy JR, Ireland AJ. Microbiological assessment of aerosol generated during debond of fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2016;150(5):831–8. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.04.022>.
- Blackley BH, Anderson KR, Panagakos F, Chipps T, Virji MA. Efficacy of dental evacuation systems for aerosol exposure mitigation in dental clinic settings. *J Occup Environ Hyg*. 2022;19(5):281–94. Epub 2022 Apr 6. PMID: 35289720; PMCID: PMC9365099.
- Lahdentausta L, Sanmark E, Lauretsalo S, Korkee V, Nyman S, Atanasova N, Oksanen L, Zhao J, Hussein T, Hyvärinen A, Paju S. Aerosol concentrations and size distributions during clinical dental procedures. *Heliyon*. 2022;8(10):e11074. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11074>. PMID: 36303931; PMCID: PMC9593181.
- Gheorghita D, Kun Szabó F, Ajtai T, Hodovány S, Bozók Z, Braunitzer G, Antal MÁ. Aerosol reduction of 2 Dental Extraoral Scavenger devices in Vitro. *Int Dent J*. 2022;72(5):691–7. <https://doi.org/10.1016/j.jident.2022.05.007>. Epub 2022 Jun 2. PMID: 35810011; PMCID: PMC9159968.
- Kun-Szabó F, Gheorghita D, Ajtai T, Hodovány S, Bozók Z, Braunitzer G, Antal MÁ. Aerosol generation and control in the dental operator: an in vitro spectrometric study of typical clinical setups. *PLoS ONE*. 2021;16(2):e0246543. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246543>. PMID: 33539439; PMCID: PMC7861533.
- Yang M, Chaghtai A, Melendez M, Hasson H, Whitaker E, Badi M, Sperrazza L, Godel J, Yesilsoy C, Tellez M, Orrego S, Montoya C, Ismail A. Mitigating saliva aerosol contamination in a dental school clinic. *BMC Oral Health*. 2021;21(1):52. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01417-2>. PMID: 33546674; PMCID: PMC7863034.
- Duill FF, Schulz F, Jain A, Krieger L, van Wachem B, Beyrau F. The impact of large Mobile Air Purifiers on Aerosol Concentration in classrooms and the reduction of Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(21):11523. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111523>.
- Kaplan N, Rao LN. COVID-19 and importance of air filtration. *Diabetes Metab Syndr*. 2021 Jul-Aug;15(4):102183. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2021.06.020>.
- Lednický JA, Lauzardo M, Hugh Fan Z, et al. Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients. *Int J Infect Dis*. 2021;105:454–5. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.11.017>.

29. Allen JG, Marr LC. Recognizing and controlling airborne transmission of SARS-CoV-2 in indoor environments. *Indoor Air*. 2020;30(5):557–8. <https://doi.org/10.1111/ina.12697>.
30. Liu DT, Phillips KM, Speth MM, Besser G, Mueller CA, Sedaghat AR. Portable HEPA purifiers to eliminate Airborne SARS-CoV-2: a systematic review. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2022;166(4):615–22. <https://doi.org/10.1177/01945998211022636>.
31. Tzoutzas I, Maltezou HC, Barmpareos N, Tasios P, Efthymiou C, Assimakopoulos MN, Tseroni M, Vorou R, Tzermpos F, Antoniadou M, Panis V, Madianos P. Indoor air quality evaluation using mechanical ventilation and Portable Air Purifiers in an academic Dentistry Clinic during the COVID-19 pandemic in Greece. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(16):8886. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168886>.
32. Elsaid AM, Ahmed MS. Indoor air quality strategies for air-conditioning and Ventilation Systems with the spread of the global coronavirus (COVID-19) epidemic: improvements and recommendations. *Environ Res*. 2021;199:111314. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111314>.
33. Fennelly M, Gallagher C, Harding M, Hellebust S, Wenger J, O'Sullivan N, O'Connor D, Prentice M. Real-time monitoring of Aerosol Generating Dental procedures. *J Dent*. 2022;120:104092. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104092>. Epub 2022 Mar 16. PMID: 35304203.
34. Watson R, Oldfield M, Bryant JA, Riordan L, Hill HJ, Watts JA, Alexander MR, Cox MJ, Stamatakis Z, Scurr DJ, de Cogan F. Efficacy of antimicrobial and antiviral coated air filters to prevent the spread of airborne pathogens. *Sci Rep*. 2022;12(1):2803. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06579-9>.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.