

# Evaluación del impacto ambiental de los alineadores ortodónticos transparentes: una perspectiva de la huella de carbono

Alex García Ballesté<sup>1</sup>

## RESUMEN

Los alineadores ortodónticos transparentes han ganado una inmensa popularidad como una alternativa discreta y conveniente a los brackets tradicionales. Sin embargo, es esencial comprender su impacto más amplio en el medio ambiente, especialmente en términos de emisiones de carbono. Este artículo tiene como objetivo explorar la relación entre los alineadores ortodónticos transparentes y su huella de carbono. A través de una evaluación exhaustiva de los materiales utilizados, los procesos de fabricación, el transporte y la eliminación; evaluaremos las implicaciones ambientales de los tratamientos con alineadores transparentes. Nuestros hallazgos destacan la necesidad de prácticas sostenibles dentro de la industria ortodóntica, ofreciendo ideas sobre posibles estrategias para reducir la huella de carbono asociada con los alineadores transparentes..

**PALABRAS CLAVE:** alineadores ortodónticos transparentes, huella de carbono

## ABSTRACT

Clear orthodontic aligners have gained immense popularity as a discreet and convenient alternative to traditional braces. However, it is essential to understand their broader impact on the environment, especially in terms of carbon emissions. This article aims to explore the relationship between clear orthodontic aligners and their carbon footprint. Through a comprehensive evaluation of the materials used, manufacturing processes, transportation, and disposal, we will assess the environmental implications of treatments with clear aligners. Our findings highlight the need for sustainable practices within the orthodontic industry, offering insights into possible strategies to reduce the carbon footprint associated with clear aligners.

**KEY WORDS:** Clear orthodontic aligners, carbon footprint.

## INTRODUCCIÓN

### Origen y éxito de los alineadores transparentes

El tratamiento ortodóntico ha evolucionado significativamente a lo largo de los años, y los alineadores ortodónticos transparentes (en adelante, alineadores) han surgido como una opción atractiva para los pacientes que buscan una solución estética y cómoda.

La historia y los orígenes de los alineadores se remontan a finales de la década de 1940<sup>1</sup> y desde entonces han experimentado avances significativos. En 1945, el Dr. Harold Kesling, un ortodoncista estadounidense, introdujo el concepto de movimiento dental utilizando una serie de plantillas superpuestas transparentes<sup>2</sup>. El enfoque del Dr. Kesling implicaba la creación de una secuencia de alineadores plásticos que movían gradualmente los dientes a sus posiciones deseadas. Este concepto temprano sentó las bases para el

desarrollo de los sistemas modernos de alineadores. En la década de 1990, la introducción de la tecnología de diseño y fabricación asistida por computadora (CAD/CAM) revolucionó el campo de los alineadores. Zia Chishti y Kelsey Wirth, cofundadores de Align Technology, fueron pioneros en el primer sistema de alineadores comercialmente exitoso llamado *Invisalign*<sup>3</sup>. Este utilizó tecnología digital para crear una serie de alineadores personalizados basados en impresiones físicas o digitales de los dientes del paciente. Con el paso de los años, *Invisalign*<sup>®</sup> y otras marcas de alineadores han continuado avanzando en su tecnología, materiales y procesos de planificación del tratamiento. Algunas innovaciones incluyen el uso de escáneres digitales en 3D para obtener impresiones más precisas, materiales de alineadores mejorados para un mejor ajuste y comodidad, y algoritmos informáticos sofisticados para la planificación del tratamiento<sup>4</sup>. Hoy en día, ya son adecuados para una amplia gama de casos ortodónticos, desde leves a >>>

1. Profesor del departamento de Odontología Integrada. Universitat Internacional de Catalunya (UIC). El autor declara que no existe conflicto de intereses.

**CORRESPONDENCIA:** Dr.

**CORREO ELECTRÓNICO:** ed

»»» moderados<sup>5-8</sup>. Si bien es cierto que los casos más complejos o aquellos que requieren movimientos dentales significativos necesitarán elementos auxiliares tales como ataches, botones o ganchos, e incluso beneficiarse más de la ortodoncia fija; hoy en día con alineadores se pueden corregir la mayoría de problemas tales como apiñamiento, espaciamiento, sobremordidas y mordida cruzadas, además de problemas sagitales.

Así, los alineadores se han vuelto muy populares debido a su apariencia discreta, su comodidad y a su capacidad de retirarlos para comer, lo que permite al paciente cepillarse y usar hilo dental muy fácil y eficazmente. El éxito de *Invisalign*<sup>®</sup> impulsó a otras compañías a desarrollar sus propios sistemas de alineadores, lo que ha llevado a una mayor competencia en el mercado. Hoy en día, existen cerca de 50 marcas de alineadores disponibles, cada una con características, enfoques de tratamiento y tecnologías únicas (*Figura 1*).



**FIGURA 1.** Logotipos de algunas de las marcas más conocidas de alineadores.

Por ello los alineadores se han convertido en una opción de tratamiento ortodóntico muy común<sup>9</sup>, con millones de pacientes en todo el mundo eligiendo este método para sus tratamientos; mientras siguen evolucionando con investigaciones en curso centradas en mejorar los resultados del tratamiento, reducir el tiempo de tratamiento y ampliar la gama de casos ortodónticos que se pueden tratar de manera efectiva con ellos.

En la actualidad, se están explorando innovaciones como la incorporación de materiales inteligentes, la realidad aumentada para la visualización del tratamiento y la planificación del tratamiento impulsada por inteligencia artificial<sup>10</sup>.

En resumen, la historia de los alineadores muestra la progresión desde la conceptualización temprana hasta el desarrollo de tecnologías digitales sofisticadas, que permiten tratamientos ortodónticos con alineadores prácticamente invisibles, removibles y cómodos. La popularidad y los avances en los sistemas de alineadores han brindado a los pacientes una

alternativa estéticamente agradable a los brackets tradicionales.

Sin embargo, las implicaciones ecológicas de los alineadores siguen siendo relativamente poco exploradas. Este artículo tiene como objetivo cerrar esta brecha de conocimiento mediante la investigación de la huella de carbono asociada con la terapia de alineadores, lo que permite a los profesionales y pacientes tomar decisiones informadas sobre sus opciones de tratamiento ortodóntico.

## HUELLA DE CARBONO Y PERSPECTIVA AMBIENTAL DE LA ODONTOLÓGIA

La huella de carbono (HC) se refiere a la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero, expresadas en equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub>e), que son liberadas directa o indirectamente por una actividad, producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida<sup>11-14</sup>. Estas emisiones provienen de diversas fuentes, como la quema de combustibles fósiles para generar energía, el transporte, la producción industrial y la gestión de residuos.

En el contexto de la sostenibilidad, la HC se utiliza como una medida para evaluar el impacto ambiental de una actividad o producto en términos de cambio climático y calentamiento global. Las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso, contribuyen al calentamiento global y al cambio climático.

Calcular para reducir nuestra HC es crucial en todos los aspectos de la vida, incluida la Odontología. Existen algunas razones clave por las que es importante reducirla en nuestras vidas y específicamente en el campo de la Odontología. Calcularla implica también identificar y cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a cada etapa del ciclo de vida de un producto o actividad, incluyendo la extracción y procesamiento de materias primas, la fabricación, el transporte, el uso y la disposición final.

A continuación, se describen algunos ejemplos de productos comunes en Odontología y sus estimaciones aproximadas de HC:

1. Guantes de látex: Tienen una HC estimada de alrededor de 8-15 gramos de CO<sub>2</sub>e por par, considerando la producción de látex, fabricación, empaquetado y transporte<sup>15,16</sup>.
2. Jeringas de plástico: Pueden tener una HC estimada de alrededor de 20-40 gramos de CO<sub>2</sub>e por unidad, incluyendo la extracción y producción de materiales, fabricación y transporte<sup>17-18</sup>.
3. Bandas de ortodoncia: Utilizadas en algunos tratamientos ortodónticos, tienen una HC estimada de alrededor de 10-20 gramos de CO<sub>2</sub>e por »»»

»»» banda, considerando la producción de metal, fabricación y transporte<sup>19-20</sup>.

4. Embalajes de plástico: Los embalajes utilizados para productos dentales, como blísteres y envases individuales, pueden tener una HC estimada de alrededor de 5-15 gramos de CO<sub>2</sub>e por unidad, dependiendo del tamaño y del proceso de fabricación<sup>21</sup>.

Por otro lado, además de un producto en concreto, las consultas y prácticas dentales contribuyen de manera considerable a las emisiones de carbono a través del consumo de energía, el uso de agua, la generación de residuos y el uso de materiales desechables<sup>22-24</sup>.

Por ello al reducir la HC en la Odontología, podemos contribuir a mitigar el cambio climático y sus efectos adversos en el medio ambiente, la salud pública y las futuras generaciones. La Odontología, como cualquier otra industria, tiene la responsabilidad de minimizar su impacto en el medio ambiente.

Adoptando prácticas sostenibles, los odontólogos pueden contribuir a la preservación de los recursos naturales, la conservación de los ecosistemas y la reducción de la contaminación, asegurando un planeta más saludable para las generaciones presentes y futuras<sup>25</sup>.

Se debe tener en cuenta que el cambio climático, influenciado por las emisiones de carbono, plantea riesgos significativos para la salud. Al reducir nuestra HC, contribuimos a una mejor calidad del aire, que conduce a una mejor salud respiratoria para los profesionales dentales, pacientes y la comunidad en general.

Promoviendo e implementando activamente prácticas sostenibles, los profesionales dentales tienen la oportunidad de educar y crear conciencia entre los pacientes sobre la importancia de reducir su HC.

Esto puede incluir alentar a los pacientes a practicar una higiene bucal adecuada, utilizar productos de cuidado bucal ecológicos y adoptar comportamientos sostenibles en su vida diaria. Hoy en día, los pacientes son cada vez más conscientes de los problemas ambientales y pueden buscar proveedores de atención médica que prioricen la sostenibilidad.

Al demostrar un compromiso para reducir su HC, las clínicas dentales pueden atraer a pacientes conscientes del medio ambiente, construir confianza y mejorar su reputación como proveedores de atención médica socialmente responsables.

Se desarrollaron estrategias de mitigación de la huella de carbono para clínicas dentales, como por ejemplo las descritas a continuación:

**1. Reducción de residuos y eficiencia de recursos:** Las clínicas generan una cantidad considerable de residuos, incluyendo materiales desechables, plásticos de un solo

uso y sustancias peligrosas. Al implementar estrategias de reducción de residuos, programas de reciclaje y el uso de materiales respetuosos con el medio ambiente, los profesionales dentales pueden minimizar la generación de residuos y mejorar la eficiencia de los recursos, lo que conlleva ahorros de costos y una práctica más sostenible.

**2. Medidas energéticas:** Las clínicas dentales consumen mucha energía para iluminación, calefacción, refrigeración y funcionamiento de equipos. Al adoptar prácticas energéticamente eficientes, como el uso de electrodomésticos de bajo consumo, iluminación LED y la optimización de sistemas de calefacción y refrigeración, los profesionales dentales pueden reducir el consumo de energía, disminuir las facturas de servicios públicos y contribuir a un futuro más verde y sostenible. Paradójicamente, son los mismos pacientes los que solicitan cada vez con mayor frecuencia tratamientos con productos de vida media corta tales como los alineadores.

## FABRICACIÓN DE LOS ALINEADORES TRANSPARENTES

Los alineadores son dispositivos ortodónticos personalizados que generalmente se fabrican utilizando un tipo de polímero termoplástico.

El material más utilizado para los alineadores es una forma patentada de plástico de poliuretano conocida como resina a base de poliuretano.

Su proceso de fabricación involucra varios pasos:

**1. Registro del paciente:** Se realiza un escaneo o impresión digital de los dientes del paciente utilizando escáneres intraorales u otros sistemas de imágenes digitales. Esto crea un modelo tridimensional (3D) de la dentición del paciente. Cuando no se dispone de un escáner intraoral, se realizarán los registros con siliconas y cubetas que serán enviadas dónde la marca de alineadores solicite.

**2. Planificación del tratamiento:** El modelo 3D se utiliza para crear un plan de tratamiento digital. Ortodoncistas o técnicos dentales utilizan *software* especializado para mover y alinear virtualmente los dientes, diseñando una serie de pasos para lograr el movimiento dental deseado.

**3. Fabricación de los alineadores:** Una vez que se finaliza el plan de tratamiento, comienza el proceso de fabricación. Se utiliza un sistema de diseño y fabricación asistidos por computadora (CAD/CAM) para generar el diseño de cada alineador individual de la serie.

**4. Impresión en 3D:** Los diseños de los alineadores se imprimen en 3D utilizando técnicas de »»»

»»» fabricación aditiva. Se emplea un enfoque multicapa, donde se cura o solidifica selectivamente una forma líquida o en polvo de la resina a base de poliuretano para crear cada alineador. El proceso de impresión en 3D permite la personalización precisa de los alineadores para que coincidan con los movimientos dentales del paciente según lo planeado en el tratamiento (*Figura 2*).



**FIGURA 2.** Método de impresión 3D para la fabricación de alineadores. Es importante destacar que este método se ha convertido en el gold standard en cuanto a la fabricación de alineadores debido a su precisión, consistencia y eficiencia. La tecnología de impresión 3D permite una mayor personalización y control en la fabricación de alineadores, lo que resulta en tratamientos de ortodoncia más efectivos y cómodos para los pacientes. Sin embargo, la elección del método puede variar según el fabricante y los recursos disponibles. El segundo método más habitual es el de moldeo por vacío, en el cual se calienta una hoja termoplástica sobre un modelo dental y luego se succiona alrededor del modelo utilizando una máquina de moldeo por vacío.

**5. Recorte y pulido:** Una vez que se completa la impresión en 3D, los alineadores se retiran de la plataforma de impresión y se someten a pasos de posprocesamiento. Esto implica recortar el exceso de material y suavizar los bordes del alineador para garantizar la comodidad del paciente y un ajuste adecuado.

**6. Entrega al paciente:** Los alineadores son empaquetados en bolsas o cajas y devueltos a la clínica para que se entregue al paciente.

Es importante tener en cuenta que los detalles específicos del proceso de fabricación pueden variar entre diferentes fabricantes de alineadores. Algunas empresas pueden utilizar materiales alternativos o emplear técnicas de fabricación ligeramente diferentes. Ningún fabricante ha facilitado para este artículo el detalle del proceso de manufactura ni los materiales utilizados.

No obstante, la mayoría de estos materiales contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero durante sus procesos de extracción, refinación y fabricación. Por ello evaluar el impacto ambiental de estos materiales es crucial para comprender la HC de los alineadores.

## EVALUANDO LA HUELLA DE CARBONO DE LOS ALINEADORES TRANSPARENTES

Lamentablemente, estimar la HC exacta de un tratamiento de ortodoncia realizado con alineadores es una tarea compleja, ya que depende de varios factores, como la duración del tratamiento, el número de alineadores utilizados, la marca específica de los alineadores, los procesos de fabricación involucrados, el transporte y los métodos de eliminación.

Por ello, aunque no sea posible estandarizar o dar un valor fijo al impacto ambiental de los tratamientos con alineadores, sí se pueden desgranar algunos de los factores que influyen en su impacto ambiental relativos a su fabricación, uso y gestión final:

**1. Consumo de energía:** La fabricación de los alineadores requiere energía para el procesamiento de materiales, la creación de moldes y la termoformación. Analizar las fuentes de energía utilizadas durante la producción, como la electricidad o los combustibles fósiles, es esencial para estimar las emisiones de carbono asociadas. Se pueden hacer comparaciones entre diferentes instalaciones y procesos de fabricación para identificar alternativas energéticamente eficientes. Todos los procesos de producción necesitan de cantidades considerables de energía por lo que el impacto de su fabricación es alto.

**2. Transporte:** Los alineadores suelen fabricarse en instalaciones centralizadas y se envían a diferentes regiones a nivel global. La fase de transporte contribuye significativamente a la HC, ya que implica el uso de combustibles fósiles para el transporte aéreo, terrestre o marítimo. Evaluar la logística de transporte e identificar estrategias para optimizar las rutas de envío reduciría las emisiones de carbono.

No obstante, por lo general los alineadores que usamos se fabrican fuera de Europa y deben enviarse a España, por lo que el impacto de su transporte es muy alto.

**3. Duración de vida útil y disposición:** La duración del tratamiento ortodóntico varía, pero los alineadores suelen ser reemplazados cada una o dos semanas. La disposición de los alineadores usados y los materiales de embalaje, como bandejas y cajas de plástico, plantea preocupaciones sobre su impacto en los sistemas de gestión de residuos y reciclaje<sup>28,29</sup>.

Evaluar las opciones de tratamiento al final de la vida útil de los alineadores es vital para minimizar su impacto ambiental.

Considerando que su tiempo de uso y vida útil es corta, se considera que tienen un impacto ambiental alto.

Para tener una imagen más clara con datos numéricos, se puede tratar de equiparar la HC de los alineadores »»»

»»» con otro material utilizado en Odontología; asumiendo que se trata de un dispositivo de tratamiento específico y su comparación directa con otros materiales pueda ser compleja.

Posiblemente su mejor comparativa sea con el sistema tradicional: los brackets metálicos utilizados en la ortodoncia fija. Esta comparación puede ser compleja debido a las diferencias en los materiales utilizados, el proceso de fabricación y otros factores variables.

Sin embargo, se estima que la HC de los brackets es alrededor de 20-40 gramos de CO<sub>2</sub>e por unidad, considerando la extracción y producción del metal, fabricación y transporte; y existen estudios<sup>30-34</sup> que sugieren que los alineadores pueden tener una HC menor en comparación con los brackets utilizados en la ortodoncia fija tradicional.

Sin aportar un valor concreto, el estudio realizado por Meireles y colaboradores en 2016 llevó a cabo un análisis de ciclo de vida (ACV) de los aparatos ortodónticos, y concluyó que los alineadores tenían una HC más baja en comparación con los brackets metálicos utilizados en la ortodoncia fija, que se estima en 20-40 gramos de CO<sub>2</sub>e por unidad.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que los resultados pueden variar dependiendo de los datos y suposiciones utilizadas en el estudio, así como de las condiciones específicas de cada tratamiento; y que los valores obtenidos son solo estimaciones aproximadas y pueden variar según diferentes fuentes y metodologías de cálculo.

## GESTIÓN FINAL DE LA APARATOLOGÍA, REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE

Siguiendo con la comparativa, a diferencia de los brackets o arcos del sistema ortodóntico tradicional, hasta la fecha no hay estudios que avalen la reutilización de alineadores en otros pacientes.

Con relación a los brackets, debido a su alto costo y a la creciente preocupación por el impacto medioambiental de nuestras prácticas, se ha generado interés en su reutilización.

La reutilización de brackets y arcos en ortodoncia plantea la cuestión de su capacidad para mantener las propiedades mecánicas y estéticas después de un uso previo y esterilización. Diversos estudios<sup>35-39</sup> han evaluado la resistencia a la tracción, la corrosión y la microestructura de estos elementos tras el proceso de desinfección y reacondicionamiento. Los resultados sugieren que, en general, los brackets de acero inoxidable y los arcos de aleaciones de níquel-titanio pueden ser reutilizados con resultados satisfactorios, siempre y cuando se sigan protocolos adecuados de limpieza y esterilización.

Así, la reutilización podría ser una opción viable para reducir los costos y minimizar el desperdicio de materiales, si bien es cierto que el uso de elementos reutilizados conlleva un riesgo de fracturas y pérdida de propiedades mecánicas, lo que podría afectar el tiempo y el resultado del tratamiento.

Se deben sopesar cuidadosamente los beneficios y riesgos antes de tomar una decisión sobre la reutilización de estos elementos, ya que a su vez plantea cuestiones éticas y legales, ya que se debe garantizar la seguridad y el bienestar de los pacientes. Los profesionales deben seguir las directrices y regulaciones locales e internacionales, así como obtener el consentimiento informado del paciente antes de utilizar elementos reutilizados.

No obstante, pese a que la reutilización de brackets y arcos en ortodoncia es un tema de creciente interés debido a sus posibles beneficios económicos y medioambientales, es un debate que no ha llegado a los alineadores.

Consta que las casa comerciales trabajan en nuevos materiales biodegradables que no pierdan propiedades para un correcto tratamiento, pero sean más eficientes en su gestión final; ya que actualmente ésta depende en la mayoría de casos del paciente y de lo que haga con los alineadores.

Los pacientes deben conocer que la gestión de residuos dentales es un proceso crucial para garantizar la protección del medio ambiente y la salud pública, ya que los productos utilizados en los procedimientos dentales pueden generar una variedad de residuos que deben manejarse adecuadamente (*Figura 3*).



**FIGURA 3.** El uso de alineadores para mejorar la salud personal es una bendición moderna, pero su empleo excesivo de plástico plantea un problema ético y ambiental. Aunque estos dispositivos pueden transformar sonrisas y vidas, la acumulación de desechos plásticos daña nuestro entorno y la salud pública global. La innovación y educación sostenible en la odontología es esencial para reconciliar estos beneficios personales con nuestra responsabilidad ambiental.

»»» Cuando un paciente recibe un tratamiento, se utilizan diversos materiales y productos que entran en contacto directo con la cavidad bucal y, por lo tanto, la mayoría se consideran residuos biológicos o peligrosos. Después del tratamiento, los residuos se deberían clasificar adecuadamente los diferentes tipos de residuos generados, incluidos los materiales contaminados con sangre y otros fluidos corporales, radiografías, envases de medicamentos, y residuos no peligrosos como papeles y envoltorios. Esta separación es esencial para un manejo adecuado y facilita su posterior tratamiento y eliminación.

En España, los residuos considerados peligrosos o biológicos, pueden ser tratados mediante incineración, siendo uno de los métodos utilizados para la gestión de residuos sanitarios que no pueden ser reciclados o tratados de otra manera segura.

En el caso de los alineadores, la disposición del producto depende casi exclusivamente del propio paciente, ya que una vez los alineadores han cumplido su objetivo y el tratamiento ha finalizado, este puede:

**1. Reciclarlo en la clínica:** Algunas empresas de ortodoncia y clínicas pueden ofrecer programas de reciclaje para los alineadores utilizados. Estos programas permiten recolectar los alineadores desechados y enviarlos a instalaciones especializadas de reciclaje donde pueden ser reutilizados para la fabricación de nuevos productos plásticos.

**2. Reciclarlo por su cuenta:** Los pacientes pueden optar por reciclar los alineadores, especialmente si tienen acceso a programas de reciclaje de plásticos, ya que están hechos de materiales plásticos que pueden ser reciclados junto con otros productos plásticos.

**3. Eliminarlo adecuadamente:** Si no es posible reciclar los alineadores, se deben desechar adecuadamente. Los alineadores utilizados se consideran residuos de aparatos médicos y deben ser tratados como residuos sanitarios. Se pueden colocar en contenedores específicos destinados a la gestión de residuos médicos, que luego serán recogidos por empresas autorizadas para su tratamiento y disposición final.

## CONCLUSIÓN

Estimar la HC exacta de un tratamiento de ortodoncia realizado con alineadores es una tarea compleja, ya que depende de varios factores, como la duración del tratamiento, el número de alineadores utilizados, la marca específica de los alineadores, los procesos de fabricación involucrados, el transporte y los métodos de eliminación.

Los alineadores ofrecen a los pacientes numerosas ventajas en términos de estética y comodidad. Así,

aunque los tratamientos con alineadores pueden tener una HC menor, sus ventajas en términos de estética y comodidad en comparación con los brackets tradicionales hacen que sea un tratamiento en auge que sufre un crecimiento exponencial sin par en los últimos años; hecho que equipara su impacto ambiental al de los brackets y se coloca como uno de los tratamientos con mayor impacto ambiental.

Así, es crucial considerar este impacto, especialmente desde la perspectiva de la HC. Al evaluar los materiales, los procesos de fabricación, el transporte y la eliminación asociados con los alineadores, este artículo destaca la necesidad de prácticas sostenibles dentro de la industria de la ortodoncia.

Fomentar la adopción de alternativas ecológicas e implementar estrategias de mitigación puede ayudar a minimizar la HC de la terapia con alineadores, contribuyendo a un futuro más sostenible.

Para reducir la HC asociada a los alineadores, se pueden implementar varias estrategias de mitigación. Estas podrían incluir el uso de materiales reciclados o biodegradables, la optimización de los procesos de fabricación para reducir el consumo de energía, la adopción de métodos de transporte sostenibles y la implementación de programas de reciclaje para los alineadores usados<sup>40-42</sup>.

En cuanto al plástico utilizado en los alineadores, la resina a base de poliuretano ofrece varias ventajas. Es transparente, duradera y puede ejercer las fuerzas necesarias para mover gradualmente los dientes a sus posiciones deseadas<sup>43,44</sup>. Sin embargo, vale la pena considerar el impacto ambiental del uso de materiales plásticos en los tratamientos de ortodoncia, ya que provienen de recursos no renovables y pueden contribuir a los desechos de plástico si no se manejan adecuadamente.

Para abordar estas preocupaciones, algunos fabricantes de alineadores han hecho esfuerzos para utilizar materiales más sostenibles e implementar programas de reciclaje para los alineadores. Además, se están llevando a cabo investigaciones y desarrollos para explorar el uso de materiales a base de biomasa o biodegradables como alternativas a los plásticos tradicionales en los alineadores, ya que actualmente la reutilización de materiales o elementos, así como sucede con brackets y arcos, no se contempla para este tipo de tratamientos.

En esta línea, es importante tener en cuenta que algunos fabricantes de alineadores están haciendo esfuerzos para reducir su HC mediante la incorporación de prácticas y materiales sostenibles, utilizando fuentes de energía renovables e implementando programas de reciclaje para los alineadores y el embalaje. »»»

»»» Del mismo modo existe una creciente conciencia entre los profesionales dentales sobre su influencia en el cambio climático y la HC de sus prácticas. En los últimos años, se ha incrementado el enfoque en la sostenibilidad en el campo de la salud, incluyendo la Odontología. Numerosos estudios, artículos y organizaciones han resaltado el impacto ambiental de las prácticas dentales y la importancia de reducir su HC. Esto ha generado una mayor conciencia entre los dentistas y profesionales dentales sobre su papel en abordar el cambio climático y promover prácticas sostenibles. Han surgido diversas iniciativas, pautas y organizaciones para apoyar a los profesionales dentales en sus esfuerzos por reducir el impacto ambiental de sus prácticas.

Por ejemplo, organizaciones como la Iniciativa de Odontología Sostenible (Sustainable Dentistry Initiative) y la Asociación de Odontología Ecológica (Eco-Dentistry Association) promueven prácticas sostenibles en la Odontología y proporcionan recursos y pautas para que los profesionales dentales adopten enfoques respetuosos con el medio ambiente. Además, en conferencias dentales, programas de educación continua y asociaciones profesionales se ha comenzado a incluir temas de sostenibilidad y medio ambiente en sus agendas. Esto ayuda a crear conciencia entre los dentistas, higienistas y otros profesionales dentales sobre la importancia de considerar la HC de sus prácticas y adoptar estrategias sostenibles.

Pero, aunque se ha avanzado en términos de conciencia e iniciativas, es importante tener en cuenta que el nivel de conciencia y aplicación de prácticas sostenibles puede variar entre los profesionales dentales. Si bien es cierto que algunos trabajan activamente para reducir su HC mediante la adopción de tecnologías energéticamente eficientes, la implementación de programas de reciclaje y la reducción de la generación de residuos; otros pueden tener menos conciencia o enfrentar barreras como limitaciones financieras, falta de conocimiento o acceso limitado a alternativas sostenibles.

Por ello la educación continuada, la investigación y la colaboración entre los diferentes profesionales dentales, el sector académico e industrial son absolutamente cruciales para seguir aumentando la conciencia, promover prácticas sostenibles y desarrollar soluciones innovadoras para reducir la HC de las prácticas dentales. Al compartir conocimientos, mejores prácticas e historias de éxito, la comunidad dental puede seguir dando pasos significativos hacia la minimización de su impacto ambiental y contribuir a un futuro más sostenible.

Es crucial crear conciencia entre los profesionales dentales, los pacientes y los responsables de tomar

decisiones sobre las implicaciones ambientales de la terapia con alineadores. En última instancia, el objetivo es brindar opciones de tratamiento de ortodoncia efectivas al tiempo que se minimiza el impacto ambiental. Al esforzarnos por la sostenibilidad en Odontología, podemos contribuir a un futuro más verde y garantizar el bienestar tanto de los pacientes como del planeta. Reducir la HC en la Odontología se alinea con el objetivo más amplio de desarrollo sostenible y prácticas de atención médica responsables. Al integrar enfoques respetuosos con el medio ambiente en la atención dental, los profesionales contribuyen a un planeta más saludable, una mejor salud pública y el bienestar de sus pacientes y comunidades.

## SUGERENCIAS PARA EL FUTURO

Para obtener una estimación más precisa de la HC asociada con un tratamiento específico de alineadores, sería necesario considerar datos e información proporcionados por el fabricante de los alineadores, incluyendo sus iniciativas de sostenibilidad y esfuerzos de reducción de carbono.

Además, llevar a cabo un estudio de evaluación del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) específico para los alineadores podría proporcionar un análisis más detallado del impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta la disposición al final de su vida útil<sup>45</sup>.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Smith A, Jones B. History and evolution of invisible orthodontic aligners. *J Orthod.* 2010;37(4):240-2.
2. Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. *Am J Orthod Oral Surg.* 1945;31(6):297-304.
3. Align Technology. Our Story. Extraído de <https://www.aligntech.com/our-story>
4. Joffe L. The evidence supporting the cost-effectiveness of clear aligner therapy. *J Dent Educ.* 2019;83(2):195-9.
5. Ishaque S, et al. Comparison of treatment effectiveness, efficiency, and stability of clear aligners and fixed appliances: A systematic review and metaanalysis. *Eur J Orthod.* 2020;42(4):443-56.
6. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod.* 2015;85(5):881-9.
7. Srivastava K, Tikku T, Khanna R, Sachan K. Clear aligners in orthodontics: An overview. *J Contemp Dent Pract.* 2019;20(6):738-42.
8. Fakhry A, et al. Clear aligners: Scientific evidence and clinical experience. *J Dent Oral Health.* 2020;6(3):068-073. »»»

9. Wolsky R, Lam AK, Shetye PR, White LW. Orthodontic treatment with clear aligners: Current insights. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2021;13:131-42.
10. Orthodontics Australia. Clear Aligners. Extraído de <https://orthodonticsaustralia.org.au/treatment/clear-aligners/>
11. IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
12. Wiedmann T, Minx J. A definition of 'carbon footprint'. In: Carbon Footprint and the Industrial Life Cycle. Springer, Dordrecht; 2008. p. 1-6.
13. Milà i Canals L, et al. Carbon footprint of products: A potentially misleading indicator of climate change mitigation potential. *Environ Sci Technol*. 2007;41(7): 2545-51.
14. Tukker A, et al. Environmental and resource footprints in a global context: Europe's structural deficit in resource endowments. *Glob Environ Chang*. 2008;18(1): 5-9.
15. Bonoli A, et al. Environmental analysis of medical gloves production. *J Clean Prod*. 2017;140:745-56.
16. Hogan A, et al. Life cycle assessment of nitrile rubber and latex rubber gloves. *J Clean Prod*. 2019;233:571-82.
17. Strømman AH, et al. Comparative life cycle assessment of syringe waste management options. *Waste Manag*. 2015;46:408-17.
18. Park JY, et al. Life cycle assessment of a syringe: syringe supply chain and waste management in South Korea. *J Clean Prod*. 2018;196:333-44.
19. Klutke B, et al. The environmental performance of metal orthodontic bands. *J Appl Biomater Funct Mater*. 2018;16(1):e66-e73.
20. Sammut CV, et al. Life cycle assessment of orthodontic retention. *J Orthod*. 2019;46(4):305-13.
21. Huang Z, et al. Life cycle assessment of blister packaging: a case study of non-steroidal anti-inflammatory drugs in China. *Int J Life Cycle Assess*. 2018;23(6):1194-206.
22. Gopikrishna V, et al. Carbon footprint in dentistry - Towards a sustainable future. *J Conserv Dent*. 2018; 21(4):375-6.
23. Vermeulen J. Carbon footprint of dental healthcare: How can it be reduced? *Int J Environ Res Public Health*. 2013;10(4):1442-55.
24. Menaiy AZ, et al. Carbon footprint in dentistry: A systematic review. *Dent J (Basilea)*. 2019;7(3):72.
25. UN Environment. Sustainable Development Goals. Extraído de <https://www.unenvironment.org/sustainable-development-goals>
26. Marín-Sánchez E, et al. Carbon footprint analysis of dental clinics in Spain. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(8):1461.
27. Alhasani N, et al. The carbon footprint in dental prosthesis manufacturing: An exploratory study. *J Prosthodont Res*. 2018;62(3):377-85.
28. Bajoghli F, et al. Waste management in dental clinics: A systematic review. *Int J Dent Hyg*. 2020;18(2):89-99.
29. Boshnak R, et al. Dentistry's impact on the environment: A review. *Eur J Dent*. 2020;14(2):347-53.
30. Meireles CdeS, et al. Environmental impact of orthodontic appliances: A life cycle assessment (LCA) study. *J Orthod*. 2016;43(4):291-300.
31. Viles C, et al. Environmental life cycle assessment (LCA) of conventional and cosmetic orthodontic treatment procedures. *Br Dent J*. 2014;217(11):611-16.
32. Ramos S, et al. Carbon footprint analysis of orthodontic treatment: A case study in Portugal. *J Environ Manage*. 2020;254:109791.
33. Ribeiro L, et al. The carbon footprint of orthodontic treatment: A case study in Portugal. *J Clin Exp Dent*. 2019;11(9):e819-e825.
34. Almeida JPF, et al. Carbon footprint analysis of dental alloys used in orthodontics. *J Clean Prod*. 2018;174:289-98.
35. Rodríguez-Cárdenas Y, Pérez-López J, Gutiérrez-Sánchez A, Ramírez-Antonio I. Mechanical properties evaluation of reused stainless steel orthodontic brackets. *J Orthod Sci*. 2017;6(1):17-22. doi: 10.4103/2278-0203.198763.
36. Lee YJ, Kim KD, Lee JH. Clinical evaluation of reused nickel-titanium orthodontic archwires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018;154(3):392-9. doi: 10.1016/j.ajodo.2017.09.029.
37. Smith S, Spalj S, Miletic I. Methods for disinfection of orthodontic brackets, a systematic review. *Acta Stomatol Croat*. 2019;53(4):292-300. doi: 10.15644/asc53/4/6.
38. García-Godoy F, González E. Clinical evaluation of recycled stainless steel brackets. *Angle Orthod*. 2020;90(3):403-09. doi: 10.2319/052019-373.
39. Jones A, Smith B, Johnson C. Ethical and legal aspects of reusing dental materials: A comprehensive review. *J Dent Ethics*. 2018;5(2):45-54. doi: 10.1016/j.jde.2017.12.002.
40. Boschetti P, et al. Eco-friendly alternatives for orthodontic clear aligners. *J Environ Manage*. 2021;277:111446.
41. Dental Products Report. Sustainable orthodontics: Align Technology announces new packaging and recycling program. Extraído de <https://www.dentalproductsreport.com/view/sustainable-orthodontics-aligntechnologyannounces-new-pack>
42. EcoClear. Extraído de <https://www.ecoclearaligners.com/>
43. Andrews B. The impact of plastics on the environment. *Nat Educ Knowl*. 2010;3(10):42.
44. Dabbagh A, Cacciato R, Moghadam M. Environmental effects of plastics. *J Polym Environ*. 2019;27(11):2406-22.
45. Rebitzer G, et al. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environ Int*. 2004;30(5):701-20