

REVISIÓN

Ciencias Clínicas

Métodos diagnósticos para identificar la reabsorción radicular apical externa inflamatoria inducida por ortodoncia - Revisión de Alcance

Freddy Carpio Piña¹ | Jenny Monge Quiridumbay¹ | Teresa Cadena Iñiguez² | Jennifer Rojas García¹ |

Freddy Vásquez Álvarez¹ | Fabricio Lafebre Carrasco² | María Yunga Picón²

¹Estudiante de la Facultad de Odontología de la Universidad de Cuenca, Ecuador

²Docente de la Facultad de Odontología de la Universidad de Cuenca, Ecuador

Correspondencia

Freddy Carpio Piña

Email: rafael.carpio@ucuenca.edu.ec

Introducción: La reabsorción radicular apical externa inflamatoria inducida por ortodoncia (OIIEARR) implica inflamación del ligamento periodontal, una alteración en la circulación sanguínea local y daño al cemento radicular, lo que expone la dentina y permite su reabsorción por acción de osteoclastos. Su etiología es compleja y suele diagnosticarse mediante radiografías. **Objetivo:** Sintetizar y analizar la evidencia disponible acerca de los métodos diagnósticos utilizados para identificar la OIIEARR. **Materiales y métodos:** Se realizó una búsqueda siguiendo PRISMA-ScR en bases como PubMed, Scielo, Scopus, MDPI y Google Scholar. Se incluyeron estudios desde 2020 en español, inglés y portugués, excluyendo artículos anteriores, en animales, reportes de caso y sin acceso libre. **Resultados:** La OIIEARR es una complicación impredecible, cuyo diagnóstico se basa principalmente en radiografías periapicales, panorámicas y, sobre todo, en tomografía CBCT. Se investigan métodos alternativos como biomarcadores en saliva y fluido gingival, además del uso de inteligencia artificial (IA) para una detección más precisa y menos invasiva. **Conclusión:** La CBCT según la literatura gracias a su gran utilidad y calidad diagnóstica, continúa siendo el método más empleado. Sin embargo, la IA representa una herramienta emergente con gran potencial, y los biomarcadores podrían convertirse próximamente en una opción complementaria para el diagnóstico temprano.

PALABRAS CLAVE

Reabsorción radicular apical externa, tratamiento de ortodoncia, diagnóstico, biomarcadores, diagnóstico por imagen,

1 | INTRODUCCIÓN

La reabsorción radicular externa (RRE), es un efecto iatrogénico habitualmente observado en la ortodoncia [1]. Este fenómeno se desencadena por las fuerzas mecánicas aplicadas durante el movimiento dental, las cuales inducen una respuesta inflamatoria estéril en el ligamento periodontal y una alteración en la circulación sanguínea local [1]. Como resultado, estimula la síntesis de citoquinas y otros factores moleculares, que activan a células responsables del daño a la matriz del cemento radicular, dejando a la dentina expuesta y vulnerable a la reabsorción debido a la actividad de los odontoclastos [1, 2].

Si bien el ortodoncista emplea el proceso inflamatorio como herramienta terapéutica [3], es fundamental reconocer que la reabsorción radicular (RR) es una condición compleja y multifactorial, ya que su aparición también depende de la interacción de diversos factores, los cuales podrían clasificarse en: factores biológicos o internos y factores externos [1-4].

Esta condición se descubre frecuentemente por exámenes radiográficos de rutina, siendo la radiografía panorámica el método inicial más común para su diagnóstico por su amplia disponibilidad [1, 5]. Sin embargo, las radiografías periapicales y las imágenes obtenidas por la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), han ofrecido una mayor precisión en su identificación [1, 2, 5].

Considerando que la RR conlleva un riesgo inherente, se vuelve crucial diagnosticarla para determinar su grado y clasificarla. Esto es fundamental porque, aunque la literatura científica presenta diversas clasificaciones para este fin, la ausencia de un diagnóstico preciso impacta en su manejo clínico [?]. Por esta razón, esta revisión tiene como objetivo sintetizar la evidencia científica actual sobre los diversos métodos diagnósticos utilizados para evaluar la reabsorción radicular apical externa inflamatoria inducida por ortodoncia (OIIEARR).

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

La presente revisión narrativa se llevó a cabo mediante la búsqueda de la literatura siguiendo las directrices PRISMA - ScR. Las bases de datos utilizadas fueron PubMed, Scielo, Scopus, MDPI y Google Scholar.

2.1 | Organización y análisis de la información

Se diseñó una base de datos en Word. Luego, cada artículo se evaluó detalladamente aplicando los criterios de inclusión y exclusión establecidos, lo que permitió confirmar su utilidad para este estudio y descartar aquellos que no fueran relevantes al tema.

BASES DE DATOS	PALABRAS CLAVE
PUBMED	((“Root Resorption/classification”[Mesh] OR “Root Resorption/diagnosis”[Mesh] OR “Root Resorption/diagnostic imaging”[Mesh] OR “Root Resorption/etiology”[Mesh])) AND “Orthodontics”[Mesh]
SCIELO	“root resorption” AND “orthodontics”
MDPI	“assessing” AND “root resorption”
SCOPUS	tooth OR root AND resorption AND diagnosis OR detection OR indexes OR classification AND orthodontics
Google Scholar	“Cone-beam computed tomography” OR “IA” OR “Three-dimensional imaging” OR “radiografía periapical” OR “radiografía panorámica” + “Reabsorción radicular externa”

T A B L A 1 Llaves de búsqueda utilizadas en meta buscadores

2.2 | Criterios de elegibilidad

2.2.1 | Criterios de inclusión

- Artículos publicados en los últimos 5 años, 2020 - 2025.
- Artículos en idioma inglés, español y portugués.
- Artículos con libre acceso a texto completo.
- Estudios de cohorte, ensayos clínicos, metaanálisis, revisiones sistemáticas y artículos con revisión de la literatura, caso control.

2.2.2 | Criterios de exclusión

- Artículos que no estén dentro del tiempo establecido.
- Estudios realizados en animales, reporte de caso, opinión personal, comunicaciones breves, tesis.
- Artículos que no cuenten con libre acceso a texto completo.
- Artículos duplicados.
- Artículos que no tengan un enfoque con el tema propuesto.

La estrategia de búsqueda se realizó con la combinación de palabras clave en inglés como en español usando términos *medical subject heading* (MeSH) y el uso de operadores booleanos *AND*, *OR*, los cuales se describen en la Tabla I.

3 | RESULTADOS

Se realizó una búsqueda exhaustiva en las bases de datos digitales clave como PubMed, Scopus, Scielo, MDPI y Google Scholar, lo que resultó en la identificación de 1,663 documentos. En la primera fase de descarte, se eliminaron 1,380 artículos, dejando un total de 283 documentos, los cuales cumplían con los criterios de inclusión establecidos, como la fecha de publicación (a partir del año 2020) y la disponibilidad de acceso completo. Posteriormente, se realizó una depuración adicional, en donde se eliminaron 10 artículos duplicados y se descartaron 195 artículos tras la lectura de su título, ya que no eran relevantes al tema de estudio. Esto redujo el conjunto a 78 artículos. De los cuales se procedió a la lectura de sus resúmenes y se seleccionaron 39 artículos, descartando la mitad. Finalmente, tras la lectura a texto completo de estos 39 artículos, se descartaron 25, resultando en un total de 14 artículos que fueron incluidos en la presente revisión. El proceso de selección se muestra en la Imagen I.

La OIIEARR, es una complicación no deseada e impredecible asociada al movimiento dental durante el tratamiento ortodóntico [6, 7]. Este fenómeno se origina en la superficie externa de la raíz y se caracteriza por una inflamación estéril y una alteración circulatoria local. Además, es mediado por células odontoclásticas que, tras el daño o la pérdida del pre cemento y la capa cementoblástica, acceden a la dentina expuesta, provocando su reabsorción [1, 2, 7].

La RRE, identificada por Ottolengui en 1914 y evidenciada radiográficamente por Ketcham en 1929, es una condición multifactorial [3]. Sus factores de riesgo se dividen en biológicos o internos como la edad, sexo, genética, enfermedades sistémicas, traumatismos, características morfológicas dentales y radiculares, densidad ósea y hábitos perjudiciales; y por otro lado, los factores externos, como el tipo de movimiento dental, la aparatología utilizada y la aplicación de fuerzas ortodóncicas excesivas o prolongadas [1-8].

TABLA 1 Llaves de búsqueda utilizadas en meta buscadores

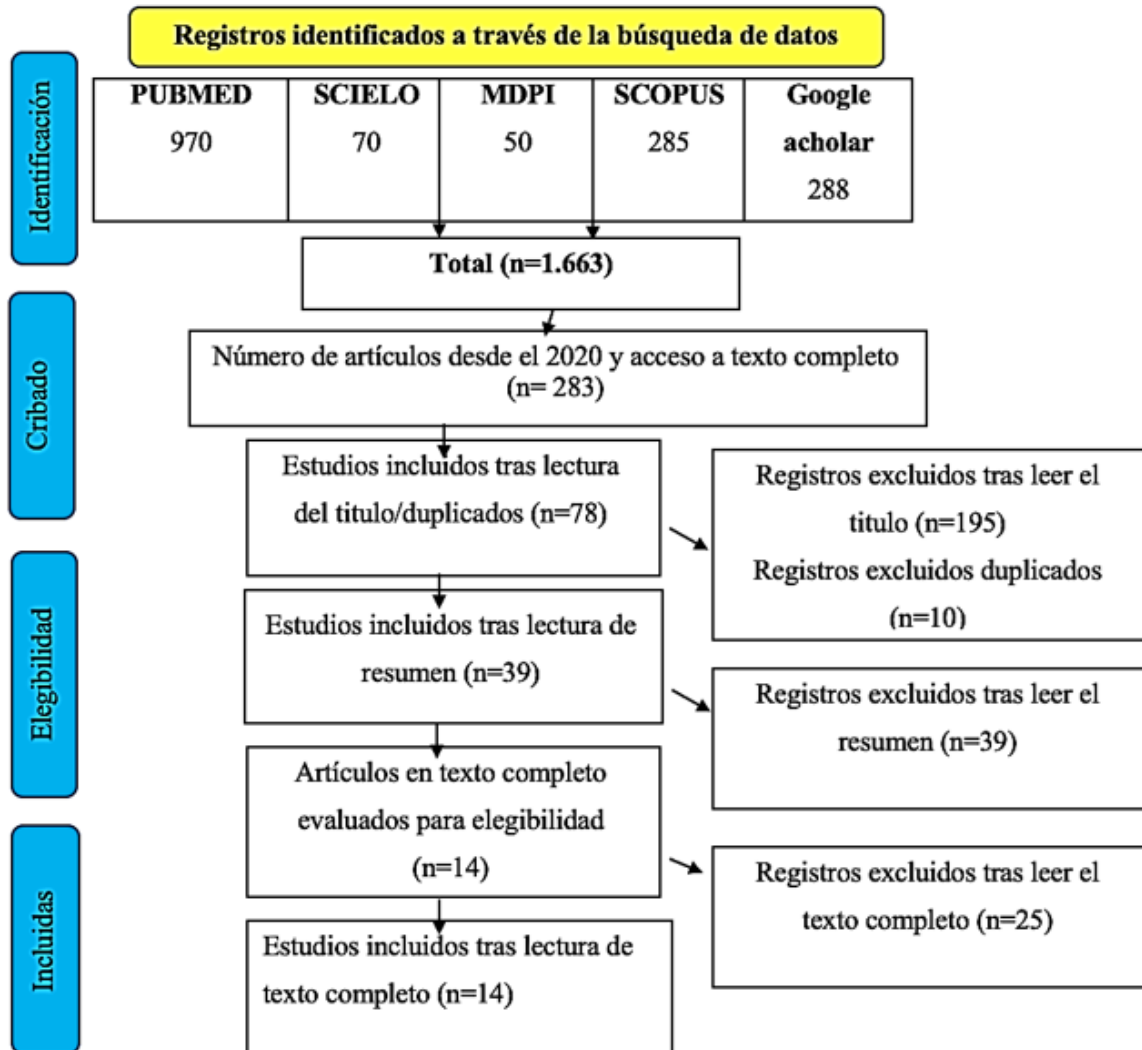


FIGURA 1 Diagrama de flujo de selección de artículos

El grado promedio de reabsorción varía entre 0.5mm y 3mm según las imágenes radiografías periapicales (Torres-Pinto y Álvarez-Parker, 2020). Otros estudios reportan rangos de 0.26 a 2.96 mm (Benavides *et al.*, 2020). En casos severos, se han documentado pérdidas de más de 4 mm, lo que puede representar hasta un tercio de la longitud radicular (Thomas, 2020). Aunque es poco común, autores como Inchingolo *et al.* (2024) y Li *et al.* (2020) mencionan casos superiores a 5mm de pérdida radicular [2, 3, 9-11].

La prevalencia de la RR varía según el método diagnóstico utilizado, los hallazgos radiográficos reportan entre el 27,7% y el 82,11% de los pacientes sometidos al tratamiento de ortodoncia [11, 12]. En contraste, los estudios histológicos revelan una prevalencia aún mayor, y autores como Torres-Pinto y Álvarez-Parker, 2020; Liu *et al.*, 2025; Steven Tan *et al.*, 2022, citan una prevalencia entre el 90% y el 100% [2, 6, 13]. Estas diferencias pueden atribuirse a factores como el tipo de diente evaluado, el tamaño muestral, dirección del

Autor y año	Diseño	Objetivo	Metodología	Método de evaluación	Grado
Jing Huang et al./2025.	Retrospectivo.	Desarrollar un método innovador para cuantificar el volumen radicular por medio del registro de un modelo dental compuesto de escaneos intraorales y datos CBCT.	36 pacientes divididos en dos grupos: grupo I – 18 pacientes y grupo II - 18 pacientes.	Modelos dentales obtenidos a partir de la extracción de imágenes CBCT con un algoritmo de IA y escaneo intraoral.	La disminución del volumen radicular después del tratamiento se expresa en porcentaje
Kristina Johansson et al./2025.	Ensayo controlado aleatorio multicéntrico.	Evaluar la RRE obteniendo una reconstrucción multiplanar de exámenes CBCT: antes, durante y después del tratamiento ortodóntico	62 pacientes atendidos en tres clínicas especializadas.	Reconstrucción multiplanar de exámenes CBCT:	Cálculo de la gravedad de la RRE en milímetros. Puntuación de malmgren de 3 y 4: Tipo 3: Raíces con ≥ 2 mm de pérdida. Tipo 4: $\geq 1/3$ de pérdida. Grave: raíces con ≥ 4 mm o más de $1/3$ de pérdida.
Patadanai Butsabul et al./2024.	Revisión sistemática y metaanálisis	Evaluar la cantidad de EARR en pacientes de ortodoncia integral utilizando alineadores claros y factores de riesgo involucrados.	Búsqueda electrónica (PubMed, SCOPUS, EBSCO, Cochrane Library y LILACS) y búsquedas manuales.	Comparación radiografía 2D y 3D.	Cálculo de la longitud radicular, del volumen radicular y la relación raíz/corona pre y postratamiento.
Shuxi Xu et al./2024.	Retrospectivo.	Desarrollar un sistema de clasificación automática para OIERR utilizando algoritmos avanzados de CNN y técnicas de procesamiento de imágenes.	400 pacientes (123 hombres y 277 mujeres).	CNN automatizan y mejoran la precisión en la detección y medición de la RRE en las imágenes de CBCT.	El estado de la raíz se clasificó en tres grupos de acuerdo con Levander y las prácticas clínicas: Grado 0 (sin OIERR) Grado 1 (OIERR leve, contorno de la raíz irregular $0 \leq 2$ mm) Grado 2 (OIERR severo, > 2 mm).
Ibtehal Almagrabi et al./2023.	Comparativo retrospectivo.	Evaluar mediante CBCT cambios en el hueso alveolar y RR en pacientes con alineadores y aparatos fijos.	40 pacientes tratados en el hospital afiliado a la Universidad de Zhengzhou.	CBCT.	Método de Sharpe: -0: sin RRA (0mm) -1: ligera pérdida del ápice (1-2 mm) -2: Pérdida moderada del ápice (2 mm a $1/4$ de la longitud de la raíz) -3: Pérdida excesiva del ápice ($>1/4$ de la longitud de la raíz).
Wei Liu et al./2021.	Retrospectivo y observacional.	Investiga de manera volumétrica, mediante (CBCT), la prevalencia y gravedad de la reabsorción radicular apical externa en pacientes tratados con alineadores transparentes.	40 pacientes con maloclusión clase II.	Comparan la CBCT con la micro-CT. siendo la micro-CT considerada el estándar de oro en la estimación de la EARR.	-Leve: menos del 10% de pérdida de volumen radicular. -Moderada: entre el 10% y 20% de pérdida. -Severa: más del 20 % de pérdida de volumen radicular.
Hanne Michielsens et al./2023.	Retrospectivo.	Comparar en radiografías 2D y 3D el rendimiento del índice de Malmgren y las diferencias según el tipo de diente.	20 pacientes (14 mujeres y 6 hombres).	Comparación entre panorámica 2D y tomografía 3D.	Índice de Malmgren: - 0: sin reabsorción radicular - 1: contorno radicular irregular - 2: reabsorción radicular apical, asciende menos de 2 mm - 3: reabsorción radicular apical, de 2 mm a $1/3$ de su longitud radicular original - 4: reabsorción radicular que excede $1/3$ de su longitud radicular original Plano axial para 3D, puntuación binaria: - 0: sin reabsorción radicular - 1: reabsorción radicular
Mariela Burgos-Urey Jhoana Mercedes Llaguno-Rubio./2020	Revisión bibliográfica.	Realizar una revisión bibliográfica sobre los factores de riesgo de ERR y la relevancia de realizar exploraciones complementarias individualizadas mediante CBCT, de cada paciente.	Bases de datos de PubMed y SCIELO.	CBCT	Clasificación de Levander y Malmgren, que incluye 5 niveles.
Julietta Quiroga-Del Pozo et al./2024.	Estudio comparativo, retrospectivo y transversal.	Determinar la incidencia de RRE en premolares superiores e inferiores permanentes al término del tratamiento de ortodoncia.	120 premolares, de pacientes entre los 18 y 35 años, con sus tratamientos terminados.	CBCT	Se clasificaron los milímetros reabsorbidos de acuerdo con 4 categorías. - 0 = Existe diferencia menor a 1 mm - 1 = Existe una diferencia entre 1 mm a 1,9 mm - 2 = Existe una diferencia entre 2 mm a 2,9 mm - 3 = Existe una diferencia entre 3 mm o más.

TABLA 2 Resultados de los estudios

movimiento dental ortodóncico y las técnicas de medición empleadas [1, 2, 13, 14].

La región apical es la más comprometida, probablemente por estar recubierta de cemento celular poco mineralizado y por la alta concentración de vasos sanguíneos y células activas en la zona [3]. Aunque toda la dentición puede verse afectada, los estudios muestran una susceptibilidad mayor para los incisivos superiores, probablemente debido a su forma radicular [8, 9, 13?].

3.1 | Diagnóstico

3.1.1 | Métodos por imagen

Habitualmente se ha recomendado un control radiográfico intermedio después de 6 a 9 meses o de 6 a 12 meses de haber iniciado el tratamiento de ortodoncia y de 12 a 24 después de haber finalizado la fase de alineación y nivelación del tratamiento, con la finalidad de controlar y monitorear a la RRE [?]. Su evaluación se ha basado en radiografías periapicales, panorámicas y cefálicas laterales [6]. Las radiografías periapicales, con técnica de paralelismo, ofrecen una baja distorsión y han sido fundamentales para establecer clasificaciones visuales como la propuesta por Levander y Malmgren, 1988 [2, 6]. Por su parte, las radiografías panorámicas, son ampliamente utilizadas por su accesibilidad, baja dosis de radiación comparada con la CBCT y además permiten visualizar ambos arcos dentales, sin embargo, presentan ciertas limitaciones como la superposición de estructuras y una magnificación que oscilan entre el 20% al 35% [15, 16]. Actualmente, la CBCT se considera el método de referencia debido a su mínima distorsión, lo que la convierte en una herramienta precisa para identificar la RR [2, 17, 18]. Sin embargo, debido a su mayor costo y exposición a la radiación, su uso debe justificarse bajo el principio ALARA ("tan bajo como sea razonablemente posible") [3, 17, 19].

3.1.2 | Posibles métodos

Si bien se destaca la utilidad de los estudios radiográficos, es importante señalar que estos métodos carecen de la capacidad para indicar si el proceso de reabsorción está activo [20]. Además, la exposición recurrente a la radiación implica riesgos como la carcinogénesis inducida, lo que limita su uso para un monitoreo continuo [21]. Frente a estas restricciones, diversas investigaciones han propuesto el empleo de marcadores biológicos como una alternativa para la detección y seguimiento de la RR [?]. Según una revisión realizada por Safi-Eddine *et al.* (2024), la detección de la OIIEARR mediante marcadores biológicos representa un enfoque más sensible, específico y seguro [19]. Esta estrategia se basa en el análisis de muestras de sangre, saliva o líquido crevicular gingival para identificar biomarcadores asociados a procesos inflamatorios, de remodelación ósea y RR. Entre los biomarcadores investigados tenemos citoquinas proinflamatorias como IL-1, IL-6, IL-8 y TNF-; mediadores de remodelación ósea como RANK, RANKL y OPG; así como proteínas de la matriz dentinaria como la fosfoproteína de dentina (DPP), la sialoproteína de dentina (DSP), la proteína de matriz de dentina 1 (DMP1) y la sialofosfoproteína de dentina (DSPP) [19, 21].

Uno de los biomarcadores clave en el movimiento ortodóncico es la interleucina-6 (IL-6), involucrada en la reabsorción ósea y el reclutamiento de osteoclastos. Según Yazid *et al.* (2020), la aplicación de fuerzas intensas puede estimular su producción, favoreciendo la activación osteoclástica y contribuyendo al desarrollo de la OIIEARR [19, 21].

Las proteínas de la matriz dentinaria, detectables mediante técnicas como ELISA, *Western Blotting* y ensayos enzimáticos, son específicas de la dentina y solo se liberan al ligamento periodontal cuando la RR está activa. Su presencia en el líquido crevicular gingival permite estimar la severidad de la OIIEARR, destacando a la DPP como un biomarcador especialmente prometedor [?]. Además, se ha sugerido que un aumento de la hormona paratiroidea (PTH) podría favorecer la progresión de la OIIEARR [19].

La inteligencia artificial (IA) ha impulsado el desarrollo de herramientas para predecir riesgos, detectar patologías, diagnosticar enfermedades y evaluar pronósticos [22, 23]. Se divide principalmente en dos ramas: la primera es un sistema experto, basado en el aprendizaje de reglas y conocimientos predeterminados; y la segunda es el aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés, *machine learning*), que mejora su rendimiento mediante la experiencia y el entrenamiento humano [22, 24, 25]. Dentro de las ML más utilizadas están las redes

neuronales artificiales (ANN), seguido de las redes neuronales convolucionales (CNN), máquinas de vectores de soporte y algoritmos de regresión [23, 26, 27].

La IA, en ortodoncia, sirve como herramienta de asistencia utilizando datos específicos del paciente obtenidos por medio de imágenes CBCT, escaneos 3D, fotografías intraorales y radiografías digitales, que sirven para crear modelos 3D detallados de los dientes. A pesar de sus beneficios, la precisión y fiabilidad de la IA en la ortodoncia siguen siendo objeto de debate, debido a que, los puntos de referencia pueden ser identificados de forma errónea, debido a variaciones anatómicas, estructuras superpuestas o imágenes de baja calidad [22, 26].

La OIIEARR también puede diagnosticarse por microscopía electrónica de barrido (MEB), análisis histológicos y microtomografía computarizada. No obstante, su aplicación requiere la extracción del diente, lo que limita su uso clínico [28, 29].

3.2 | Clasificación de la reabsorción radicular externa inducida por ortodoncia

Para su cuantificación, se utilizan dos enfoques principales: la escala ordinal, basada en una evaluación visual por grados, y la escala proporcional, que emplea mediciones precisas mediante calibradores o herramientas digitales asistidas por computadora [29, 30].

Autores como Fatih Bayir & Esra Bolat Gumus, 2021; Heboyan *et al.*, 2022; Kothamasu *et al.*, 2024, citan una clasificación propuesta por Brezniak y Wasserstein (2002):

- Reabsorción cementaria o superficial con remodelación: afecta las capas externas del cemento radicular, las cuales se regeneran completamente.
- Reabsorción dentinaria profunda con reparación: compromete el cemento y la dentina superficial, siendo esta última reparada por nuevo cemento.
- Reabsorción apical circunferencial: implica la pérdida completa del tejido duro en el ápice, generando un acortamiento radicular visible [12, 30, 31].

Malmgren *et al.*, 1982. Describe un índice cuantitativo de pérdida radicular apical horizontal:

- Grado 1: reabsorción leve - longitud normal con la apariencia de un contorno irregular.
- Grado 2: reabsorción moderada - RRE menor a 2 mm.
- Grado 3: reabsorción severa - RRE de 2 mm a 1/3 de la longitud radicular.
- Grado 4: reabsorción extrema - RRE superior a 1/3 de la longitud radicular.

Posteriormente, Levander *et al.* (1988) añadieron el grado cero para identificar los dientes no afectados. Grado 0: no hay reabsorción [1-3, 6, 15].

Evaluar la eficacia de los métodos diagnósticos para la OIIEARR ha impulsado numerosas investigaciones. La Tabla II y la Tabla III presentan una recopilación de algunos estudios relevantes sobre este tema.

4 | DISCUSIÓN

Michielsens *et al.* (2023) citan que las radiografías panorámicas son las más usadas para una evaluación de la RR en toda la dentición. No obstante, también destaca la utilidad de las radiografías periapicales, especialmente para los incisivos superiores, ya que, minimizan la superposición de la columna cervical. Complementariamente, Quiroga-Del Pozo *et al.* (2024) subrayan que las radiografías periapicales son ideales para evaluar la forma apical radicular y son incluso hasta más precisas que las radiografías panorámicas.

Autores como Burgos-Urey y Llaguno-Rubio (2020), Michielsens *et al.* (2023) y Liu *et al.* (2021), señalan que la exactitud y precisión

de las radiografías bidimensionales puede verse comprometida por la distorsión, superposición de estructuras anatómicas y un ángulo de proyección incorrecto, lo que puede conllevar a una sobreestimación o subestimación del grado de reabsorción. Quiroga-Del Pozo *et al.* (2024) añaden que la naturaleza bidimensional de estas imágenes, al representar una estructura anatómica tridimensional, limita su precisión diagnóstica. En este contexto, también se señala que la reabsorción radicular apical externa en su etapa inicial es difícilmente observable en las radiografías 2D, sin embargo, a medida que la lesión se vuelve más extensa y el acortamiento radicular se vuelve más pronunciado, las imágenes 2D ganan precisión para cuantificar (Michielsens *et al.*, 2023).

Butsabul *et al.* (2024) y Liu *et al.* (2021) destacan que la CBCT supera las limitaciones de las imágenes 2D al mejorar la exactitud en la medición de la longitud radicular, mientras que Quiroga-Del Pozo *et al.* (2024) señalan su capacidad para identificar la extensión precisa de la RR. Adicionalmente, Burgos-Urey y Llaguno-Rubio, (2020), mencionan la capacidad de la CBCT de obtener imágenes reproducibles de las raíces sin distorsión, siendo más precisa para cuantificar cambios leves y localizar la pérdida de tejido radicular en los tres planos espaciales. A pesar de estas ventajas, Michielsens *et al.* (2023) indican que la CBCT no se usa tan a menudo debido a la mayor radiación que implica. No obstante, esta exposición podría controlarse mediante el uso de volúmenes de campo limitado y el desarrollo de futuros equipos diseñados para minimizar la dosis de radiación.

Michielsens *et al.* (2023) señalan que la CBCT permite realizar mediciones directas, cuantificación del volumen y área superficial radicular, así como comparaciones mediante la superposición de imágenes 3D. Un ejemplo claro es el estudio de Johansson *et al.* (2025), que utilizó la CBCT para comparar la pérdida de volumen radicular antes y después del tratamiento. En línea con esto, Quiroga-Del Pozo *et al.* (2024) y Liu *et al.* (2021) también utilizaron CBCT en sus estudios, antes y después del tratamiento de ortodoncia, debido a su mayor sensibilidad y precisión diagnóstica.

Además, los estudios indican que la CBCT puede usarse con algoritmos de Inteligencia Artificial (IA) para una cuantificación tridimensional más precisa de los volúmenes radiculares (Huang *et al.*, 2025), o como es el caso del estudio publicado por Xu *et al.* (2024), que utilizando la longitud del diente antes y después del tratamiento, usó modelos CNN, logrando una excelente calificación de la RR, superando significativamente a la de los ortodontistas. Por otro lado, la integración con un escáner intraoral permite capturar la morfología de la superficie dental, lo que lleva a mediciones más exactas (Johansson *et al.*, 2025). En este contexto, Burgos-Urey y Llaguno-Rubio 2020, cita que la reconstrucción 3D a partir de secciones multiplanares de CBCT, incluyendo mediciones lineales y volumétricas de la RRE, mejoran significativamente la capacidad para medirla.

Aunque la clasificación de Malmgren y Levander sobre la gravedad de la reabsorción puede aplicarse tanto en evaluaciones 2D como en CBCT (Burgos-Urey y Llaguno-Rubio, 2020). Michielsens *et al.* (2023) citan que se requiere una adaptación específica de este índice para imágenes 3D.

Aunque la CBCT ofrece una precisión superior, la elección del tamaño del vóxel es crucial para la detección de la RR. Huang *et al.* (2025), menciona que un tamaño del vóxel de 0,4 mm podría no ser adecuado para capturar alteraciones morfológicas sutiles en la estructura radicular, lo que podría afectar la precisión en la cuantificación de la RRE. En contraste, Burgos-Urey y Llaguno-Rubio (2020) indican que el error en la medición de la longitud del diente y la raíz con CBCT es menor cuando se utiliza un tamaño de vóxel de 0.20 mm, en comparación con la radiografía intraoral periapical y CBCTs con vóxeles más grandes.

En cuanto a los biomarcadores, Camarena y Meneses 2022, en su revisión de la literatura cita a la saliva y el fluido crevicular gingival como fuentes prometedoras que podrían contener marcadores de dentina y cemento sirviendo de gran utilidad para el diagnóstico, incluso antes de presentarse signos radiográficos. Por su parte, Liu *et al.*, 2024, en su estudio publicado, vincula al alelo c del polimorfismo P2RX7 rs1725809 y ciertos SNP (TNFSF11, TNFRSF11B, WNT3A, SFRP2, LRP6, P2RX7 y LRP1) con EARR severa, señalando un haplotipo específico con mayor frecuencia en casos significativos. Por otro lado, Ciurla *et al.*, 2024, hallaron una asociación significativa entre el SNP para IL-1 y la reabsorción radicular apical externa (EARR), aunque no con otros polimorfismos comunes (TNFRSF11B, CASP1, IL-6). Además, subraya la falta de un método preciso de predicción pre-tratamiento. Adicionalmente, Pinheiro *et al.* (2024), y Nowrin *et al.* (2021), exploraron el polimorfismo IL-1 y el gen IL-1RN+2018, respectivamente, como posibles indicadores de la RRE, sin embargo, reconocen la necesidad de más investigaciones para validar estas asociaciones y encontrar nuevos genes.

Finalmente, Camarena y Meneses 2022, citan que una desventaja del uso de la saliva o del fluido crevicular como herramienta

diagnóstica es que no han sido desarrollados kits de diagnóstico molecular y no se tenga un consenso sobre qué biomarcadores son específicos de la lesión, por lo que, las publicaciones revisadas en este contexto subrayan la necesidad de futuros estudios con muestras más amplias con el fin de validar las asociaciones entre los biomarcadores y la RRE, y también para la posibilidad de encontrar nuevos genes involucrados en este proceso.

5 | CONCLUSIÓN

Se considera que el método más utilizado para diagnosticar y cuantificar la OIIEARR es la CBCT. Sin embargo, su uso en conjunto con la inteligencia artificial puede ser más beneficiosa para identificar esta condición, pero se necesitan más estudios para corroborar su eficacia. Además, para hacer uso de la CBCT se debería considerar su riesgo-beneficio. Por otro lado, la radiografía panorámica sigue siendo de gran utilidad ya que implica menor radiación y menor costo para el paciente. Adicionalmente, se considera la clasificación de Malmgren 1982, modificado por la Levander 1988, como escala ordinal para identificar el grado de la RRE, aunque, si bien es de gran utilidad, especialmente para las radiografías convencionales, se considera que se desarrolle una nueva clasificación para las imágenes 3D. Por último, los estudios citan la utilidad de los biomarcadores como indicativo de la RRE debido a que son métodos menos invasivos y no requieren la exposición a la radiación, sin embargo, faltan más estudios que validen su implementación.

6 | CONFLICTOS DE INTERÉS

Sin conflictos de intereses.

Referencias

- [1] Mendoza FMV, Morales VCC, Arpi CDP, Ortiz JAR. External Root Resorption (ERR) after orthodontic treatment: Review article. *World J Adv Res Rev* 2021;12(3):158–163.
- [2] Pinto DAT, Álvarez Parker MC. Reabsorción radicular externa asociada al tratamiento ortodóncico: revisión de la literatura. *Ustasalud* 2020;19:7–18.
- [3] Karina TI. Review of current medical literature on root resorption in orthodontics. *Braz J Implantol Health Sci* 2021;3(1):18–33.
- [4] Perdomo LPD, Rincón LLC, Ahumada LJE, Rodríguez LAC, Gómez AR, Reales CJF. Evaluación de Factores Biológicos y Ortodóncicos en la Reabsorción Radicular Externa Inducida por Ortodoncia. *Rev Mex Ortod* 2021;9(1):1–8.
- [5] Kurnaz S, Buyukcavus MH. Panoramic evaluation of external root resorption in mandibular molars during orthodontic treatment: a comparison between root-filled and vital teeth treated with fixed appliances or clear aligners. *BMC Oral Health* 2024;24(1):1152.
- [6] Tan JHS, Kasim NA, Wahab RMA, Ariffin SHZ, Yazid F. Orthodontic Induced Inflammatory Root Resorption: The Process Involved and its Management - A Review of Literature. *Sains Malays* 2022;51(10):3371–3381.
- [7] Doğramaci EJ, de Almeida Decurcio D, Chen CJ, Estrella C, Rossi-Fedele G. Accuracy of periapical and panoramic radiography for detection of root morphologies: a comparative study. *Braz Oral Res* 2021;35:e065.
- [8] Sambale J, Bruns PM, Jablonski-Momeni A, Heinzl-Gutenbrunner M, Korbmacher-Steiner HM. Prognostic risk factors for apical root resorption in orthodontic patients – Are the Kjær's morphologic characteristics of clinical relevance? *Ann Anat - Anat Anz* 2024;255:152287.
- [9] Herrera VEB, Paredes JLC, de Jesús Vladimir Ramírez Montes JH, Castillo JQ. Reabsorción Radicular después del tratamiento de Ortodoncia. Revisión Bibliográfica. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatría* 2020;p. art-47.

- [10] Inchingolo F, Inchingolo AM, Palmieri G, Pede CD, Garofoli G, de Ruvo E, et al. Root Resorption during Orthodontic Treatment with Clear Aligners vs. Fixed Appliances—A Systematic Review. *Appl Sci* 2024;14(2):690.
- [11] Li Y, Deng S, Mei L, Li Z, Zhang X, Yang C, et al. Prevalence and severity of apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: a cone beam computed tomography study. *Prog Orthod* 2020;21(1):1.
- [12] Bayir F, Gumus EB. External apical root resorption after orthodontic treatment: Incidence, severity and risk factors. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2021;15(2):100–105.
- [13] Liu Z, Ouyang Y, Lou Y, Han Y, Lu M, Yu M, et al. Orthodontically induced root resorption in endodontically treated and vital teeth: a cone beam computer tomographic study. *Prog Orthod* 2025;26:8.
- [14] Lin J, Zheng Q, Wu Y, Zhou M, Chen J, Wang X, et al. Quantitative analysis and clinical determinants of orthodontically induced root resorption using automated tooth segmentation from CBCT imaging. *BMC Oral Health* 2025;25:694.
- [15] Futyma-Gąbka K, Różyło-Kalinowska I, Piskórz M, Bis E, Borek W. Evaluation of root resorption in maxillary anterior teeth during orthodontic treatment with a fixed appliance based on panoramic radiographs. *Pol J Radiol* 2022;87:e545–e548.
- [16] Michielsens H, Decreus J, Begnoni G, Verdonck A, Jacobs R, Willems G, et al. Performance of the Malmgren Index for Assessing Root Resorption on 2D vs. 3D Radiographs: A Pilot Study. *Healthcare* 2023;11(13):1860.
- [17] Pereira SA, Corte-Real A, Melo A, Magalhães L, Lavado N, Santos JM. Diagnostic Accuracy of Cone Beam Computed Tomography and Periapical Radiography for Detecting Apical Root Resorption in Retention Phase of Orthodontic Patients: A Cross-Sectional Study. *J Clin Med* 2024;13(5):1248.
- [18] Rodrigues LW, Jamenis SC, Agrawal JM, Lodha JK, Lokhande RY, Marawade PV. Unveiling the Hidden Truths of Root Resorption: High-Resolution CBCT as the Gold Standard for Predictive Diagnostics and Risk Management in Orthodontics - An In Vitro Study. *J Chem Health Risks* 2024;14(5):89–98.
- [19] Safi-Eddine Z, Sahim S, Radif G, Khalfi ZE, Quars FE. Diagnosis and Management of Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption: A Review. *Open Access Libr J* 2024;11(10):1–13.
- [20] Gandhi V, Mehta S, Gauthier M, Mu J, Kuo CL, Nanda R, et al. Comparison of external apical root resorption with clear aligners and pre-adjusted edgewise appliances in non-extraction cases: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod* 2020;43(1):15–24.
- [21] Yazid F, Teh Y, Ashari A, Ariffin SHZ, Wahab RMA. Detection methods of orthodontically induced inflammatory root resorption (OIIRR): a review. *Australas Orthod J* 2020;36(1):101–107.
- [22] Bravo M, Santana P, Rivas H, Díaz P. Estado del arte de inteligencia artificial en ortodoncia. Revisión narrativa. *Av En Odontoestomatol* 2022;38(4):156–163.
- [23] Ossowska A, Kusiak A, Świetlik D. Artificial Intelligence in Dentistry—Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19(6):3449.
- [24] Liu J, Zhang C, Shan Z. Application of Artificial Intelligence in Orthodontics: Current State and Future Perspectives. *Healthcare* 2023;11(20):2760.
- [25] Ding H, Wu J, Zhao W, Matinlinna J, Burrow M, Tsoi JKH. Artificial intelligence in dentistry—A review. *Front Dent Med* 2023;4:1085251.
- [26] Olawade D, Leena N, Egbon E, Rai J, Mohammed AP, y Oladapo B, et al. AI-Driven Advancements in Orthodontics for Precision and Patient Outcomes. *Dent J (Basel)* 2025;13(5):198.
- [27] Bichu YM, Hansa I, Bichu AY, Premjani P, Flores-Mir C, Vaid NR. Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics: a scoping review. *Prog Orthod* 2021;22:18.
- [28] Peker RB, Meriç P. Evaluation of External Apical Root Resorption in Cases with Extraction and Non-Extraction Fixed Orthodontic Treatment. *Diagnostics* 2024;14(20):2338.

-
- [29] Yassir Y, McIntyre G, Bearn D. Orthodontic treatment and root resorption: an overview of systematic reviews. *Eur J Orthod* 2021;43(4):442–456.
- [30] Kothamasu V, Reddy S, Naik S, Naik T, Kuchana A. Root resorption-an overview. *International Dental Journal of Student's Research* 2024;11(3):117–120.
- [31] Heboyan A, Avetisyan A, Karobari MI, Marya A, Khurshid Z, Rokaya D, et al. Tooth root resorption: A review. *Sci Prog* 2022;105(3):00368504221109217.