

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA PROFESIONAL DE ODONTOLOGÍA
PROGRAMA DE SEGUNDA ESPECIALIDAD DE PERIODONCIA E IMPLANTOLOGÍA



TRABAJO ACADÉMICO

Para optar el título de segunda especialidad en periodoncia e implantología"

**“EVALUACIÓN DE LA LIBERACIÓN DE PARTÍCULAS DE TITANIO EN
IMPLANTES DENTALES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA”**

AUTOR

AMONES QUENTA, HENRY ELMER

0009-0007-7604-8499

ASESOR

MG. ESP. LÓPEZ PACHECO, ANDREA PATRICIA

0000-0003-0382-7495

TACNA, 2026

DEDICATORIA

A Dios, por haberme brindado la oportunidad de alcanzar esta nueva meta, por concederme salud, fortaleza y por guiar mi camino en cada momento difícil que se presentó a lo largo de esta etapa.

A mis padres y a mis hermanos, por su apoyo incondicional, por sus valiosos consejos, por inculcarme principios y valores, y por educarme con su ejemplo, permitiéndome culminar con éxito esta importante etapa de mi formación profesional.

Y de manera muy especial, a mi mamá victoria, por la bendición de tenerla a mi lado, por su amor, fortaleza y compañía constante, que han sido fundamentales en mi vida y en el logro de este sueño.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por iluminar mi camino y concederme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar satisfactoriamente esta etapa de mi formación profesional.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesora, la Dra. Andrea López Pacheco, por haber aceptado orientarme en el desarrollo de esta investigación, por su tiempo, dedicación, valiosos consejos y por compartir generosamente sus conocimientos a lo largo de este proceso.

A mis padres, por su apoyo incondicional durante toda mi vida, por motivarme constantemente en mi formación académica y personal, por creer siempre en mis capacidades y por enseñarme que la familia constituye el pilar fundamental de la vida.

A mis hermanos, por ser un ejemplo constante para mí, por brindarme siempre sus mejores consejos, su amistad sincera y su apoyo incondicional, especialmente en los momentos más difíciles, demostrándome en más de una ocasión que siempre estará a mi lado.

A mis profesores, a quienes debo gran parte de mi formación y conocimientos, gracias por su paciencia, dedicación y enseñanza. Espero que este logro sea motivo de orgullo y que la vida nos permita reencontrarnos en nuevas oportunidades académicas y profesionales.

Finalmente, agradezco a toda mi familia, por su apoyo constante e incondicional, y por acompañarme tanto en los momentos felices como en las dificultades, siendo siempre un soporte fundamental en mi vida.

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Henry Elmer Amones Quenta, en calidad de egresado de la Sección de Segunda Especialidad de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70023519 , declaro bajo juramento que:

Soy autor de la tesis titulada: “Evaluación de la liberación de partículas de titanio en implantes dentales: una revisión sistemática” Asesorado por Dra. Andrea Patricia López Pacheco, la cual presente para optar el: Título Profesional de Segunda Especialidad en Periodoncia e Implantología.

La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, habiéndose respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

La tesis presentada no atenta contra los derechos de terceros.

La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

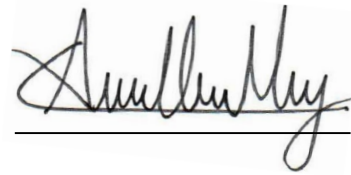
Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a La Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, me hago responsable frente a La Universidad de cualquier responsabilidad que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse

de ello a favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Aurelio Moya', is written over a horizontal line. The signature is fluid and cursive.

DNI: 70023519

Fecha: 12/05/2026

ARTICULO ORIGINAL

EVALUACIÓN DE LA LIBERACIÓN DE PARTÍCULAS DE TITANIO EN IMPLANTES DENTALES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Henry Amones Quenta¹, Willian Pandia Olivera², Andrea López Pacheco³.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar prevalencia, características y los posibles mecanismos de liberación de partículas de titanio en los tejidos periimplantarios mediante una revisión sistemática. **Materiales y métodos:** Se llevó a cabo una revisión sistemática siguiendo las directrices de PRISMA 2020. La estrategia de búsqueda se realizó de manera estructurada en bases de datos electrónicas especializadas, como Medline (vía PubMed), Web of Science y Embase. La selección de los estudios fue realizada por dos revisores independientes y calibrados, quienes aplicaron criterios de inclusión y exclusión establecidos previamente. La calidad metodológica de los estudios incluidos fue evaluada mediante la escala Newcastle–Ottawa y los criterios del Joanna Briggs Institute (JBI). Se incluyeron estudios publicados hasta febrero de 2026. **Resultados:** Se evaluaron biopsias de tejidos de 118 implantes. Cuatro estudios reportaron una detección del 100% de partículas en las biopsias de tejido con periimplantitis. El rango de tamaño reportado abarcó desde la microescala, con diámetros de 54 μm hasta la nanoescala con partículas detectadas hasta los 100nm. Los mecanismos de liberación son multifactoriales, desde la inserción quirúrgica inicial y el desgaste funcional (corrosión/tribocorrosión) hasta los procedimientos de mantenimiento y la limpieza mecánica. Todos los artículos que fueron incluidos son de buena calidad metodológica. **Conclusiones:** La elevada presencia de partículas de titanio en tejidos periimplantarios con periimplantitis sugiere que el implante no actúa como un material biológicamente inerte, sino como una posible fuente de estímulo inflamatorio. La variabilidad metodológica identificada subraya la necesidad de estudios prospectivos rigurosos que fortalezcan la evidencia científica y optimicen la toma de decisiones clínicas.

Palabras clave: Implantes dentales, titanio, osteointegración, inflamación

ORIGINAL ARTICLE

EVALUATION OF TITANIUM PARTICLE RELEASE IN DENTAL IMPLANTS: A SYSTEMATIC REVIEW

Henry Amones Quenta¹, Willian Pandia Olivera², Andrea López Pacheco³.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the prevalence, characteristics, and possible mechanisms involved in the release of titanium particles into peri-implant tissues through a systematic review. **Materials and Methods:** A systematic review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines. The search strategy was performed in a structured manner across specialized electronic databases, including MEDLINE (via PubMed), Web of Science, and Embase. Study selection was carried out by two independent and calibrated reviewers who applied predefined inclusion and exclusion criteria. The methodological quality of the included studies was assessed using the Newcastle–Ottawa Scale and the Joanna Briggs Institute (JBI) criteria. Studies published up to February 2026 were included. **Results:** Biopsies from peri-implant tissues associated with 118 implants were evaluated. Four studies reported a 100% detection rate of titanium particles in tissue biopsies from peri-implantitis sites. The reported particle size ranged from the microscale, with diameters of up to 54 µm, to the nanoscale, with particles as small as 100 nm. The release mechanisms appear to be multifactorial, including initial surgical insertion, functional wear (corrosion/tribocorrosion), maintenance procedures, and mechanical debridement. All included articles demonstrated good methodological quality. **Conclusions:** The high presence of titanium particles in peri-implant tissues affected by peri-implantitis suggests that the implant may not behave as a biologically inert material, but rather as a potential source of inflammatory stimulation. The methodological heterogeneity identified highlights the need for rigorous prospective studies to strengthen the scientific evidence and optimize clinical decision-making.

Keywords: Dental implants, titanium, osseointegration, inflammation.

I. INTRODUCCIÓN

En la implantología dental, el titanio es el material de elección debido a su biocompatibilidad, resistencia mecánica y capacidad de osteointegración. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que, durante el proceso de inserción del implante, la fricción mecánica y las cargas funcionales pueden generar la liberación de partículas de titanio hacia los tejidos circundantes. (1) La liberación de partículas de titanio puede ocurrir en múltiples etapas. Estas incluyen la preparación del lecho óseo, la liberación desde la superficie del implante durante la inserción, la interfaz implante-pilar y la fase funcional (1,2). La exposición al entorno oral, como la saliva, las bacterias y los productos químicos como el flúor, pueden facilitar aún más la corrosión y la degradación del titanio (3–5).

Diversos estudios han evidenciado la presencia de partículas de titanio en los tejidos periimplantarios, las cuales pueden persistir desde unas pocas horas hasta varios meses. (6–8). Generalmente, estas partículas son altamente insolubles y difíciles de eliminar del organismo, y suelen distribuirse en el tejido duro y blando que rodea el implante(9). La liberación de partículas de titanio a menudo se descuida debido a que su velocidad es relativamente lenta sin inducir una respuesta inmunitaria sistémica(10). Una concentración excesiva de partículas de Ti locales destruye la homeostasis intraepitelial oral, agrava la inflamación en los tejidos circundantes y provoca un desequilibrio dinámico de osteoblastos y osteoclastos(11,12). Además, las partículas de titanio liberadas no se limitan al tejido alrededor del implante, incluso migran con la sangre y se acumulan gradualmente en los órganos distales(13–16), potencialmente asociadas a respuestas sistémicas, aunque la evidencia aún es limitada.

Estas partículas metálicas, aunque microscópicas, pueden desencadenar reacciones inflamatorias locales que afectan la estabilidad ósea periimplantar. La inflamación crónica y la activación de células inmunológicas, como los macrófagos, se asocian con la remodelación ósea desfavorable e incluso con la pérdida progresiva de la cresta ósea.(17)

Dado el impacto potencial de esta problemática en el éxito a largo plazo de los implantes dentales, es fundamental comprender los mecanismos de liberación de partículas de titanio y sus efectos biológicos en los tejidos periimplantares (18). Además, a lo largo de los últimos años se ha observado la presencia de partículas metálicas, principalmente de titanio, aluminio y vanadio, en los tejidos periimplantarios. Estas partículas también estimulan la migración de células inmunes y favorecen la aparición de reacciones inflamatorias. (19–21) Los investigadores han reportado diferentes técnicas para determinar la presencia de partículas metálicas o cuerpos extraños en la mucosa periimplantaria (22–24). Un problema común que puede tener un impacto perjudicial en resultado a largo plazo de las restauraciones de implantes y causar el fracaso del implante es la periimplantitis (25). La periimplantitis es una condición patológica asociada a la placa que ocurre en los tejidos alrededor de los implantes dentales (26). Se caracteriza por la inflamación en la mucosa periimplantaria y la posterior pérdida progresiva del hueso de soporte circundante en el que se ancla el implante. El riesgo de periimplantitis depende de varios factores, y se ha informado que la frecuencia del diagnóstico de periimplantitis es del 1 al 47% con sistemas de implantes seleccionados (27). El Taller Mundial de 2017 sobre la Clasificación de Enfermedades y Afecciones Periodontales y Periimplantarias mencionó cierta evidencia de un vínculo entre las partículas de titanio y la periimplantitis, pero su papel como indicador de riesgo de periimplantitis aún está por determinarse.(25,28,29)

Esta revisión sistemática tuvo como finalidad recopilar y analizar de manera crítica la evidencia científica disponible sobre liberación de partículas de titanio en implantes dentales, con el objetivo de contribuir a una toma de decisiones clínicas fundamentada en la mejor evidencia disponible y de responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la prevalencia, características y los posibles mecanismos de liberación de partículas de titanio en los tejidos periimplantarios?

OBJETIVO:

Evaluar la prevalencia, características y los posibles mecanismos de liberación de partículas de titanio en los tejidos periimplantarios.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1 Diseño del estudio: Revisión sistemática.

II.2. Estrategia de búsqueda: Se realizó una búsqueda exhaustiva en la base de datos Medline (vía PubMed), Embase, Web of Science, hasta febrero 2026.

Base de datos	Estrategia de búsqueda
PubMed	((dental implants[MeSH Terms]) AND ((((((titanium[MeSH Terms]) OR (titanium particles)) OR (biocorrosion)) OR (reactive lesion)) OR (foreign body)))) AND (bone loss)("implant"[all] OR "dental implants"[mh] OR "dental implant"[tiab] OR "dental implantation" [tiab] OR "dental implantation, endosseous"[mh]) AND ("foreign body"[tiab] OR "foreign bodies"[tiab] OR "foreign substance"[tiab] OR "reactive lesion"[tiab] OR "reactive lesions"[tiab] OR "titanium particle"[all] OR "titanium particles"[all] OR "metal element"[all] OR "metal elements"[all]) AND ("dental"[tiab] OR "oral"[tiab] OR "tooth"[tiab] OR "teeth"[tiab]).

EMBASE	("Dental Implants"[MeSH] OR "dental implant*") AND ("Titanium"[MeSH] OR "titanium particles" OR "titanium debris") AND ("Peri-Implantitis"[MeSH] OR "peri-implant tissue" OR "inflammation")
Web of Science	ALL=(dental implant) AND (((ALL=(titanium particles)) OR ALL=(biocorrosion)) OR ALL=(reactive lesion)) OR ALL=(foreign body)

II.3. Población: Se utilizaron los elementos PEO para una presentación ordenada de la información.

- P: Pacientes portadores de implantes dentales.
- E: Presencia de partículas de titanio.
- O: Porcentaje de cuerpos extraños, tamaño de partículas y métodos de liberación: corrosión, tribocorrosión, inserción del implante, implantoplastia.

II.4. Criterios de Selección:

Dos revisores independientes (HA y PO), residentes de la Especialidad de Periodoncia e Implantología de la Universidad Privada de Tacna, llevaron a cabo la evaluación de los títulos, resúmenes y textos completos con el fin de seleccionar los estudios pertinentes. En caso de discrepancias entre ambos, estas fueron discutidas hasta alcanzar un consenso. Si dicho acuerdo no se lograba, se consultaba a un tercer revisor con amplia experiencia en periodoncia e implantología para la toma de decisión final.

Criterios de inclusión

Se incluyeron los artículos de estudios transversales, caso control y serie de casos que evaluaban la presencia y/o la liberación de partículas de titanio o metales derivados de implantes dentales en tejidos humanos. Se seleccionaron investigaciones que llevaron a cabo al menos un método de identificación de partículas para detectar Ti o partículas similares a metales.

Criterios de exclusión

Se excluyeron artículos de revisión, cartas, opiniones, capítulos de libros, resúmenes de conferencias, estudios realizados in vitro y estudios realizados en animales

II.5 Recolección de datos:

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en las bases de datos Medline (vía PubMed), Embase y Web of Science. Una vez obtenidos todos los artículos, se utilizó el gestor Rayyan para identificar y eliminar duplicados. Luego, se excluyeron aquellos estudios que no cumplían con los criterios de inclusión previamente establecidos, mediante una revisión de títulos y resúmenes.

Los textos completos de los artículos seleccionados fueron descargados y evaluados, conservando únicamente los que se ajusten a los criterios de inclusión. Para evaluar la confiabilidad entre revisores durante el proceso de selección, se calculó el coeficiente de concordancia kappa, considerando un valor mínimo aceptable de ($k: 0,8$).

La evaluación de la calidad metodológica se llevó a cabo mediante Newcastle–Ottawa (NOS) para los estudios de casos y controles. En el caso de los estudios transversales, se utilizó una versión adaptada de la escala Newcastle–Ottawa para estudios observacionales de corte transversal, que considera los aspectos de selección,

comparabilidad y evaluación del desenlace, asignando puntuación de calidad mediante estrellas. (31) y las series de casos fueron evaluadas mediante los criterios del Joanna Briggs Institute (JBI).

Esta revisión sistemática cumplió las recomendaciones del reporte para revisiones sistemáticas PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Review). El protocolo ha sido registrado en PROSPERO con el siguiente código CRD420251044508

II.6 Aspectos éticos:

Esta investigación garantizó el respeto por la propiedad intelectual de los autores al citar adecuadamente las ideas y conocimientos utilizados, así como al señalar claramente las fuentes bibliográficas consultadas. Además, el proyecto fue presentado para su revisión ante el Comité de Ética de la Universidad Privada de Tacna.

III. RESULTADOS

La búsqueda inicial encontró un total de 2095 registros tanto en búsquedas electrónicas como manuales. Después de la eliminación de duplicados y el análisis de títulos y resúmenes, un total de 54 artículos fueron seleccionados para la evaluación a texto completo. Finalmente, se incluyeron 6 estudios para el análisis cualitativo (FIGURA 1). El motivo de exclusión más común fueron los estudios in vitro. Los artículos excluidos y las razones de la exclusión se enumeran en tabla 1 y las principales características de los estudios incluidos se resumen en la tabla 2.

Los diseños de investigación mostraron variabilidad, incluyendo tres estudios transversales, dos estudios de casos y controles, una serie de casos. La población humana total analizada a través de los diversos estudios sumó aproximadamente 188 pacientes, con un total de 118 implantes. Los entornos de estudio se distribuyeron entre centros universitarios, hospitalarios y clínicas privadas. Los sitios evaluados consistieron mayoritariamente en biopsias de tejido de granulación de lesiones con periimplantitis grave, tejido blando adyacente a implantes. La mayoría de los estudios (Rakic, Wilson, Nelson, Pettersson, Flatebø) obtuvieron sus resultados de biopsias de tejido blando (mucosa o tejido de granulación), mientras que Lechner se enfocó en el componente óseo medular.

La evidencia disponible muestra una elevada frecuencia de detección de partículas de titanio en los sitios evaluados. En los estudios que analizaron biopsias de lesiones periimplantarias, la presencia de partículas de titanio osciló entre el 83% y el 100% de las muestras. Las partículas de titanio se detectaron consistentemente en el tejido de granulación y en la mucosa oral adyacente a los implantes. Flatebø y col. 2011, identificaron una mayor probabilidad de registros de partículas de titanio en la superficie epitelial externa de la mucosa oral, mientras que Lechner y cols. 2018, evidenció la

diseminación de estas partículas de titanio hacia órganos distantes, tales como ganglios linfáticos, hígado y bazo. En términos cuantitativos, la presencia de partículas de titanio fue significativamente mayor en tejidos con periimplantitis según Wilson y col. 2015, en comparación con los controles de periodontitis según Pettersson y col. 2018.

Los resultados evidenciaron una marcada variabilidad en el tamaño y la composición de las partículas. El rango de tamaño reportado abarcó desde la microescala, con diámetros de 9 a 54 μm y áreas promedio de 9.9 μm^2 , hasta la nanoescala con partículas detectadas desde los 100 nm hasta los 2300 nm. Este rango dimensional es considerado biológicamente activo, ya que permite la interacción directa con células del sistema inmune, particularmente macrófagos, facilitando su fagocitosis y la subsecuente activación de respuestas inflamatorias. En el contexto periimplantario, la presencia de partículas con estas dimensiones podría contribuir al mantenimiento de un microambiente inflamatorio crónico, favoreciendo la progresión de la pérdida ósea periimplantaria. Químicamente, aunque el titanio fue el elemento predominante, también se identificaron partículas de cemento dental compuestas por circonio (Zr), silicio (Si) y aluminio (Al). (38).

Los mecanismos de liberación de partículas identificados de forma descriptiva en los estudios incluyeron el desgaste durante la inserción quirúrgica, la degradación de la superficie por corrosión o tribocorrosión, y la instrumentación mecánica durante los procedimientos de mantenimiento o limpieza mecánica.

La fricción y desgaste durante la instalación (Fase Quirúrgica): El desprendimiento de partículas ocurre por el fresado del lecho óseo y la fricción mecánica del implante contra el hueso durante su inserción. (Rakic, Flatebø y cols.). Se ha observado que los implantes con superficies rugosas liberan una mayor cantidad de partículas de titanio durante esta fase en comparación con superficies lisas (Pettersson y cols.).

Corrosión y degradación química: La capa protectora de óxido de titanio puede disolverse en ambientes ácidos generados por infecciones anaeróbicas crónicas o variaciones de pH en la cavidad oral (Rakic y cols.) Asimismo, la presencia de bacterias y productos celulares, como las especies reactivas de oxígeno y proteínas, acelera la degradación del metal (Nelson y cols).

Mantenimiento y limpieza mecánica: Los procedimientos de higiene profesional son una fuente crítica de liberación. El uso de raspadores e instrumentos ultrasónicos para eliminar el biofilm, desprende partículas que quedan atrapadas en los tejidos blandos circundantes (Rakic, Pettersson y Wilson y cols.). Procedimientos más agresivos como la implantoplastia (pulido y acabado de la superficie expuesta) también generan una diseminación significativa de partículas de titanio (Wilson y cols.).

Tribocorrosión y fatiga mecánica: En la fase funcional, los micro movimientos en la interfase implante-pilar (causados por fuerzas oclusales) provocan un fenómeno de corrosión por fricción (Nelson y cols. y Wilson y cols.). Esta interacción sinérgica entre el desgaste mecánico y la corrosión química (tribocorrosión) facilita el desprendimiento continuo de iones y nanopartículas. (Nelson y cols.)

Se registró una amplia diversidad en las técnicas analíticas para la identificación de partículas. Los métodos empleados incluyeron microscopía óptica (MO), microscopía electrónica de barrido (MEB) acoplada a espectrometría de energía dispersiva (EDS), espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), y técnicas de alta resolución basadas en radiación de sincrotrón, como μ -XRF, nano-XRF y μ -XANES. Esta variabilidad técnica se asoció con diferentes umbrales de detección y capacidades para discriminar el tamaño de las partículas.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de la presente revisión sistemática evidencian una elevada frecuencia de detección de partículas de titanio en tejidos periimplantarios, particularmente en sitios afectados por periimplantitis, lo que respalda la interpretación de que la liberación de partículas metálicas es un fenómeno frecuente en implantes dentales en condiciones patológicas. La detección de partículas en hasta el 100% de las biopsias analizadas en cuatro estudios sugiere que su presencia no es un hallazgo aislado, sino un evento común en tejidos inflamados alrededor de implantes. (29,32,34,35,36). La mayor concentración de partículas de titanio en tejidos con periimplantitis, en comparación con controles con periodontitis o tejidos sanos, refuerza la noción de una asociación entre la inflamación periimplantaria y la liberación o acumulación de partículas metálicas. Sin embargo, dado el predominio de estudios transversales y observacionales, esta asociación no permite establecer una relación causal directa. En este contexto, las partículas de titanio podrían interpretarse como cofactores que contribuyen a la perpetuación del proceso inflamatorio, más que como un desencadenante primario de la enfermedad. (23,36). Esta acumulación de partículas, que abarca desde la microescala hasta la nanoescala, indica un posible cambio en la comprensión de la periimplantitis, sugiriendo que la patología podría estar mediada por una respuesta inmunológica a cuerpos extraños además del factor bacteriano convencional (26,35).

Al comparar críticamente los estudios, se observa una discrepancia notable en cuanto a la morfología y la respuesta tisular reportada, probablemente debida a la variabilidad en la sensibilidad de las técnicas analíticas empleadas (10,33,35). Mientras que investigaciones basadas en radiación de sincrotrón detectaron una resolución nanométrica, estudios mediante microscopía óptica convencional llevaron a identificar partículas de mayor tamaño micrométrica (15, 35,38). Asimismo, existe una falta de consenso respecto a la

reacción de cuerpo extraño (FBR); mientras algunos autores identificaron células gigantes multinucleadas rodeando las partículas de titanio, otros no hallaron evidencia de fagocitosis frustrada, lo que sugiere que la reactividad biológica de las partículas podría depender de factores individuales del huésped o de la especiación química del metal, predominantemente titanio metálico (6, 32, 35)

La relevancia científica de estos hallazgos se relaciona con las teorías actuales que sugieren que la enfermedad está mediada por un proceso de inflamación crónica o por una alteración en la interacción normal entre el sistema inmunitario y el tejido óseo. (11, 34). Desde el punto de vista clínico, esto sugiere que la evaluación y el manejo de la enfermedad periimplantaria no deberían centrarse exclusivamente en el control de la placa bacteriana, sino también considerar otros factores contribuyentes, como la liberación de partículas de titanio, los procesos inflamatorios persistentes y la respuesta del huésped, los cuales podrían influir en la progresión y severidad de la patología periimplantaria.

Los datos subrayan el impacto potencial de los procedimientos de mantenimiento y limpieza mecánica (24,36). La instrumentación de la superficie del implante y la corrosión en ambientes ácidos (propios de la infección bacteriana) se perfilan como los mecanismos principales de liberación de partículas, lo que podría agravar la inflamación y reducir la predictibilidad de los tratamientos regenerativos (32,36). Además, la identificación de partículas de cemento y otros metales como circonio, aluminio y silicio resalta la complejidad del nicho periimplantario y la necesidad de protocolos clínicos más estrictos durante la cementación de prótesis (12,32,38).

Las fortalezas de la evidencia incluida residen en el uso de tecnologías de vanguardia como la espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y técnicas basadas en radiación de sincrotrón, que permiten una caracterización elemental

precisa (4,33,35,36). Desde una perspectiva clínica, el reducido tamaño muestral de los estudios disponibles y el predominio de diseños transversales limitan la posibilidad de establecer una relación causal definitiva entre la liberación de partículas de titanio y el inicio de la enfermedad periimplantaria. Por ello, las decisiones clínicas deben interpretarse con cautela y no basarse exclusivamente en la presencia de partículas, priorizando una evaluación integral del paciente hasta que estudios longitudinales de mayor calidad metodológica confirmen su relevancia etiológica. (34,35). La liberación de partículas de titanio debe entenderse como consecuencia de la interacción fisicoquímica entre las características de la superficie del implante y el entorno bucal.

La calidad metodológica de los estudios incluidos fue en general moderada a alta según la escala Newcastle–Ottawa y los criterios del JBI.

Limitaciones de los artículos incluidos

Tamaño de muestra reducido, varios estudios cuentan con un número pequeño de participantes, lo que limita la potencia estadística y la posibilidad de generalizar los resultados a toda la población. Se recomienda realizar estudios con mayor tamaño muestral.

La notable disparidad en las técnicas analíticas empleadas (ICP-MS, técnicas basadas en radiación de sincrotrón y microscopía electrónica de barrido), así como en las unidades de medida reportadas (ejemplo, $\mu\text{g}/\text{kg}$ frente a tamaño de μm) limitaron la comparabilidad de los resultados e impidió la realización de un metaanálisis. En consecuencia, los hallazgos deben interpretarse como asociaciones preliminares y no como evidencia de causalidad.

Futuros estudios deberían estandarizar los parámetros utilizados para la caracterización del tamaño de las partículas, empleando métricas uniformes que permitan la comparación directa entre investigaciones.

V. CONCLUSIONES

La evidencia indica una alta prevalencia de partículas de titanio en los tejidos periimplantarios, con un amplio rango de tamaños que va desde la micro hasta la nanoescala. Su liberación es multifactorial, involucrando la inserción quirúrgica, la corrosión y tribocorrosión durante la función, así como los procedimientos de mantenimiento e instrumentación. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de optimizar los protocolos clínicos para minimizar la liberación de partículas y sus posibles efectos sobre los tejidos periimplantarios.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Delgado-Ruiz R, Romanos G. Potential causes of titanium particle and ion release in implant dentistry: a systematic review. *Int J Mol Sci.* 2018;19(10):3087.
2. Senna P, Del Bel Cury AA, Kates S, Meirelles L. Surface damage on dental implants with release of loose particles after insertion into bone. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17(4):681-92.
3. Siirilä HS, Könönen M. The effect of oral topical fluorides on the surface of commercially pure titanium. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1991;6(1):50-4.
4. Mabileau G, Bourdon S, Joly-Guillou ML, Filmon R, Baslé MF, Chappard D. Influence of fluoride, hydrogen peroxide and lactic acid on the corrosion resistance of commercially pure titanium. *Acta Biomater.* 2006;2(1):121-9.
5. Barbieri M, Mencio F, Papi P, Rosella D, Di Carlo S, Valente T, et al. Corrosion behavior of dental implants immersed into human saliva. *Materials (Basel).* 2017;10(6):671.
6. Halperin-Sternfeld M, Sabo E, Akrish S. The Pathogenesis of Implant-Related Reactive Lesions: A Clinical, Histologic and Polarized Light Microscopy Study. *J Periodontol.* 2016;87(5):502-10.
7. Olmedo DG, Nalli G, Verdú S, Paparella ML, Cabrini RL. Exfoliative Cytology and Titanium Dental Implants: A Pilot Study. *J Periodontol.* 2013;84(1):78-83.
8. Wilson TG Jr, Valderrama P, Burbano M, Blansett J, Levine R, Kessler H, et al. Foreign bodies associated with peri-implantitis human biopsies. *J Periodontol.* 2015;86(1):9-15.
9. He X, Reichl FX, Wang Y, Michalke B, Milz S, Yang Y, et al. Analysis of titanium and other metals in human jawbones with dental implants: a case series study. *Dent Mater.* 2016;32(8):1042-51.
10. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi. European Association for Osseointegration. Key points for clinical practice from the EAO 2018 consensus conference. 2019;54(5):297-302.

11. Yu B, Bai J, Shi J, Shen J, Guo X, Liu Y, et al. MiR-106b inhibition suppresses inflammatory bone destruction of wear debris-induced periprosthetic osteolysis in rats. *J Cell Mol Med.* 2020;24(13):7490-503.
12. Obando-Pereda GA, Fischer L, Stach-Machado DR. Titanium and zirconia particle-induced pro-inflammatory gene expression in cultured macrophages and osteolysis, inflammatory hyperalgesia and edema in vivo. *Life Sci.* 2014;97(2):96-106.
13. Heringa MB, Peters RJB, Bleys RLAW, van der Lee MK, Tromp PC, van Kesteren PCE, et al. Detection of titanium particles in human liver and spleen and possible health implications. *Part Fibre Toxicol.* 2018;15(1):15.
14. Berger CA, Arkhipova M, Farkas A, Maas G, Jacob T. Titanium deposition from ionic liquids: appropriate choice of electrolyte and precursor. 2016;18(6):4961-5.
15. Pettersson M, Pettersson J, Molin Thorén M, Johansson A. Release of titanium after insertion of dental implants with different surface characteristics: an ex vivo animal study. *Acta Biomater Odontol Scand.* 2017;3(1):63-73.
16. Wennerberg A, Jimbo R, Allard S, Skarnemark G, Andersson M. In vivo stability of hydroxyapatite nanoparticles coated on titanium implant surfaces. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2011;26(6):1161-6.
17. Kandaswamy E, Harsha M, Joshi VM. Titanium corrosion products from dental implants and their effect on cells and cytokine release: a review. 2024;84:127464.
18. Fretwurst T, Nelson K, Tarnow DP, Wang HL, Giannobile WV. Is metal particle release associated with peri-implant bone destruction? *J Dent Res.* 2018;97(3):259-65.
19. Noronha Oliveira M, Schunemann WVH, Mathew MT, Henriques B, Magini RS, Teughels W, et al. Can degradation products released from dental implants affect peri-implant tissues? *J Periodontal Res.* 2018;53(1):1-11.
20. Souza JCM, Apaza-Bedoya K, Benfatti CAM, Silva FS, Henriques B. A comprehensive review on the corrosion pathways of titanium dental implants and their biological adverse effects. *Metals (Basel).* 2020;10(9):1272.

21. Prathapachandran J, Suresh N. Management of peri-implantitis. *Dent Res J (Isfahan)*. 2012;9(5):516-21.
22. Berryman Z, Bridger L, Hussaini HM, Rich AM, Atieh M, Tawse-Smith A. Titanium particles: an emerging risk factor for peri-implant bone loss. *Saudi Dent J*. 2020;32(6):283-92.
23. Olander J, Barkarmo S, Hammarström Johansson P, Wennerberg A, Stenport VF. Inflammatory gene profile and particle presence in peri-implant mucosa: a pilot study on 9 patients. *J Oral Maxillofac Res*. 2023;14(3):e2.
24. Penmetsa S, Shah R, Thomas R, Kumar A, Gayatri P, Mehta D. Titanium particles in tissues from peri-implant mucositis: an exfoliative cytology-based pilot study. *J Indian Soc Periodontol*. 2017;21(3):192-4.
25. Berglundh T, Armitage G, Araujo MG, Avila-Ortiz G, Blanco J, Camargo PM, et al. Peri-implant diseases and conditions: consensus report of workgroup 4. *J Clin Periodontol*. 2018;45 Suppl 20:S286-91.
26. Berglundh T, Persson L, Klinge B. A systematic review of complications in implant dentistry. *J Clin Periodontol*. 2002;29 Suppl 3:197-212.
27. Derks J, Tomasi C. Peri-implant health and disease: a systematic review. *J Clin Periodontol*. 2015;42 Suppl 16:S158-71.
28. Jepsen S, Caton JG, Albandar JM, Bissada NF, Bouchard P, Cortellini P, et al. Periodontal manifestations of systemic diseases. *J Periodontol*. 2018;89 Suppl 1:S237-48.
29. Schwarz F, Derks J, Monje A, Wang HL. Peri-implantitis. *J Clin Periodontol*. 2018;45 Suppl 20:S246-66.
30. Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, et al. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. Version 6.5. Cochrane; 2024.
31. Wells GA, Shea B, O'Connell D, Peterson J, Welch V, Losos M, et al. *The Newcastle-Ottawa Scale (NOS)*. Ottawa: Ottawa Hospital Research Institute; 2013.

32. Rakic M, Radunovic M, Petkovic-Curcin A, Tatic Z, Basta-Jovanovic G, Sanz M. Immunopathological effect of titanium particles in peri-implantitis. *Clin Oral Implants Res.* 2022;33(6):656-66.
33. Flatebø RS, Høl PJ, Leknes KN, Kosler J, Lie SA, Gjerdet NR. Mapping of titanium particles in peri-implant mucosa. *J Oral Pathol Med.* 2011;40(5):412-20.
34. Lechner J, Noumbissi S, von Baehr V. Titanium implants and silent inflammation. *EPMA J.* 2018;9(3):331-43.
35. Nelson K, Hesse B, Addison O, Morrell AP, Gross C, Lagrange A, et al. Distribution of micro- and nanoparticles in inflamed tissue. *Anal Chem.* 2020;92(21):14432-43.
36. Pettersson M, Pettersson J, Johansson A, Molin Thorén M. Titanium release in peri-implantitis. *J Oral Rehabil.* 2019;46(2):179-88.
37. Wang X, Li Y, Feng Y, Cheng H, Li D. Macrophage polarization in bone resorption induced by titanium particles. *J Periodontal Res.* 2019;54(6):629-38.
38. Wilson TG Jr, Valderrama P, Burbano M, Blansett J, Levine R, Kessler H, et al. Foreign bodies associated with peri-implantitis. *J Periodontol.* 2015;86(1):9-15.

ANEXOS

FIG 1. Diagrama de flujo de PRISMA 2020 para nuevas revisiones sistemáticas que incluyeron búsquedas en bases de datos y registros

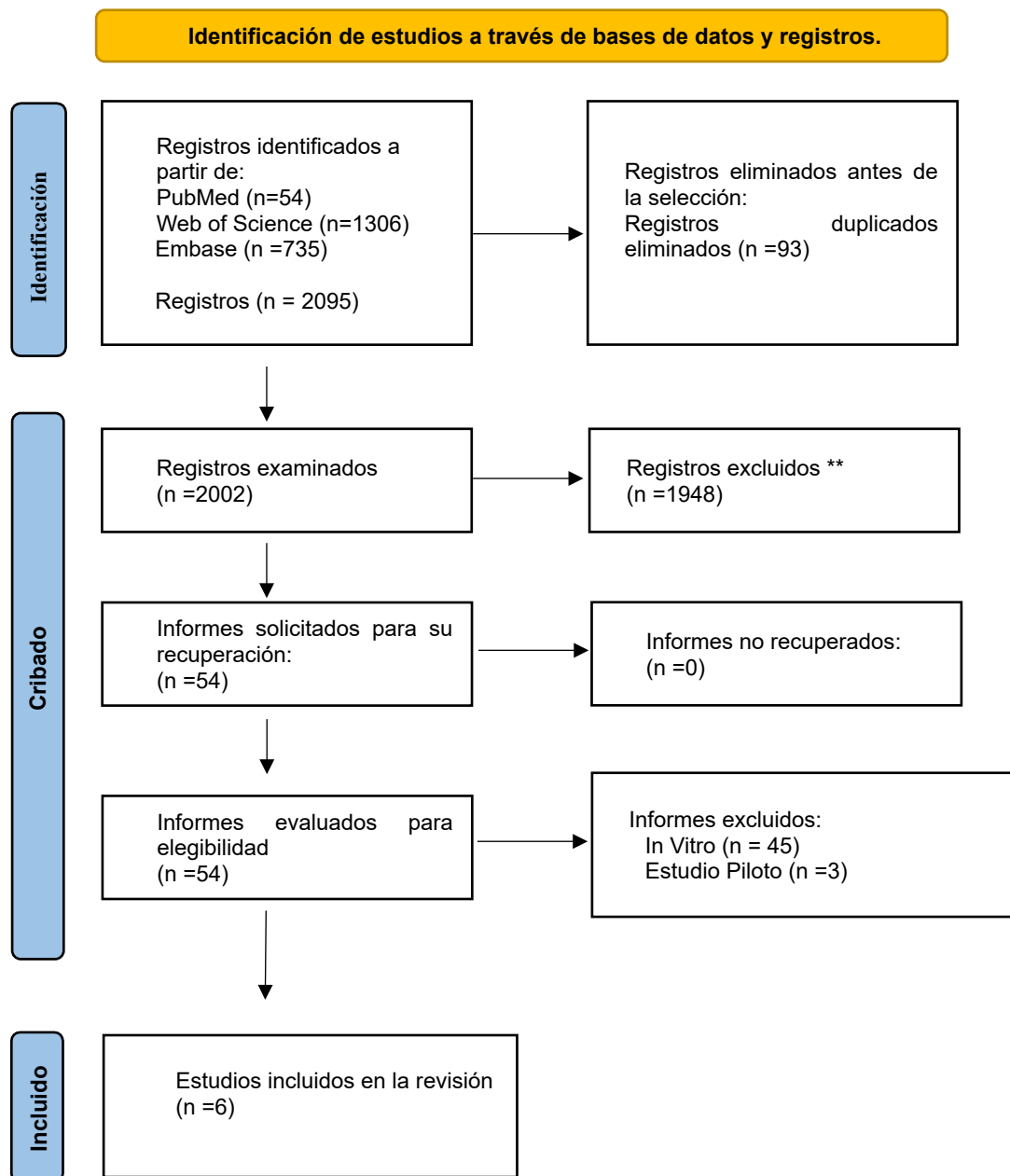


TABLA 1. Razones de exclusión de los artículos con justificaciones.

AUTORES	TITULO	RAZON DE EXCLUSIÓN
Franchi M. y cols. 2004	Early detachment of titanium particles from various different surfaces of endosseous dental implants	In vitro
Rossi S y cols. 2008	Peri-implant tissue response to TiO ₂ surface modified implants.	In vitro
Meng, B y cols. 2009	The effect of titanium particles on rat bone marrow stem cells in vitro	In vitro
Meng B. y cols. 2010	Effect of titanium particles on osteoclast activity in vitro	In vitro
Makihira, S y cols. 2010	Titanium ion induces necrosis and sensitivity to lipopolysaccharide in gingival epithelial-like cells	In vitro
Eger, M y cols. 2014	Acute inflammatory response in macrophages induced by titanium particles released from ultrasonic scaling of surface-treated dental implants.	In vitro
Senna, P y cols. 2015	Surface Damage on Dental Implants with Release of Loose Particles after Insertion into Bone	In vitro
He, XL y cols. 2015	Intracellular uptake and toxicity of three different Titanium particles	In vitro
Fretwurst y cols. 2016	Metal elements in tissue with dental peri-implantitis: a pilot study	Estudio Piloto
Sridhar, S y cols. 2016	In Vitro Evaluation of Titanium Exfoliation During Simulated Surgical Insertion of Dental Implants	In vitro
Eger M. y cols. 2017	Inflammation-induced osteolysis caused by particles released from scaling of titanium implants	In vitro
Dodo C.G. y cols. 2017	Pro-inflammatory Analysis of Macrophages in Contact with Titanium Particles and Porphyromonas gingivalis	In vitro
Barbieri, M y cols. 2017	Corrosion behavior of dental implants immersed into human saliva: preliminary results of an in vitro study	In vitro
Pettersson, M y cols. 2017	Titanium ions form particles that activate and execute interleukin-1 release from lipopolysaccharide-primed macrophages	In vitro
Sajnog, A. y cols. 2018	Usefulness of laser ablation ICP-MS for analysis of metallic particles released to oral mucosa after insertion of dental implants (NUEVA TECNICA DE DETECCION)	Experimental
Happe A.y cols. 2019	The biologic effect of particulate titanium contaminants of dental implants on human osteoblasts and gingival fibroblasts	In vitro
Harrel y cols. 2019	Titanium particles generated during ultrasonic scaling of implants	In vitro
Costa y cols. 2019	Exposure effects of endotoxin-free titanium-based wear particles to human osteoblasts	In vitro
Bressan E. y cols. 2019	Metal Nanoparticles Released from Dental Implant Surfaces: Potential Contribution to Chronic Inflammation and Peri-Implant Bone Loss	In vitro
Schwarz F. y cols. 2019	Cytotoxicity and proinflammatory effects of titanium and zirconia particles (TITANIO VS ZIRCONIA)	In vitro
Ihn, HJ y cols. 2019	Pentamidine Inhibits Titanium Particle-Induced Osteolysis In Vivo and Receptor Activator of Nuclear Factor- κ B Ligand-Mediated Osteoclast Differentiation In Vitro	In Vitro
Souza J.G.S. y cols. 2020	Titanium particles and ions favor dysbiosis in oral biofilms	In vitro
Barrak y cols. 2020	Particle release from implantoplasty of dental implants and impact on cells	In vitro
Zhou Z. y cols. 2021	The unfavorable role of titanium particles released from dental implants	In vitro
Yu, XY and Zhu, y cols. 2021	Osteoclast-mediated biocorrosion of pure titanium in an inflammatory microenvironment	In vitro

Ramenzoni y cols. 2021	Effect of Titanium and Zirconium Oxide Microparticles on Pro-Inflammatory Response in Human Macrophages under Induced Sterile Inflammation: An In Vitro Study	In vitro
Toledano-Serrabona y cols. 2022	Evaluation of the inflammatory and osteogenic response induced by titanium particles released during implantoplasty of dental implants	Ex vivo
Callejas y cols. 2022	The Characterization of Titanium Particles Released from Bone-Level Titanium Dental Implants: Effect of the Size of Particles on the Ion Release and Cytotoxicity Behaviour	Ex vivo/ In vitro
Wu, XX y cols. 2022	Characteristics of Particles and Debris Released after Implantoplasty: A Comparative Study	Ex vivo/ In vitro
Ajitsankardas P. y cols. 2022	Impact of Metal Particles Released during Ultrasonic Scaling of Titanium Surfaces on Human Gingival Fibroblasts	in vitro
Barrak y cols. 2022	Particle release from dental implants immediately after placement - An ex vivo comparison of different implant systems	In vitro
Vara y cols. 2022	Effect of the Nature of the Particles Released from Bone Level Dental Implants: Physicochemical and Biological Characterization	In vitro
Romanos. GE. y cols. 2022	Spectrometric Analysis of the Wear from Metallic and Ceramic Dental Implants following Insertion: An In Vitro Study	In vitro
Cionca N y cols. 2023	Quantification of titanium and zirconium elements in oral mucosa around healthy dental implants: a case-control pilot study	Estudio Piloto
Toledano-Serrabona y cols. 2023	Ion release and local effects of titanium metal particles from dental implants: An experimental study in rats	Estudio Piloto
Kheder W. y cols. 2023	Titanium Particles Modulate Lymphocyte and Macrophage Polarization in Peri-Implant Gingival Tissues	In vitro
Xu, XQ and Li y cols. 2023	Caffeic acid phenethyl ester ameliorates titanium particle-induced bone loss and inflammatory reaction in a mouse acute model	In vitro
Toledano-Serrabona y cols. 2023	Tracking soluble and nanoparticulated titanium released in vivo from metal dental implant debris using (single-particle)-ICP-MS	In vitro
Labis y cols.2023	Emission and Migration of Nanoscale Particles during Osseointegration and Disintegration of Dental Implants in the Clinic and Experiment and the Influence on Cytokine Production	In vitro
Kim y cols. 2023	Britanin inhibits titanium wear particle-induced osteolysis and osteoclastogenesis	In vitro
Stolzer y cols. 2023	Do Titanium Dioxide Particles Stimulate Macrophages to Release Proinflammatory Cytokines and Increase the Risk for Peri-implantitis?	In vitro
Papamanoli y cols. 2023	Free titanium particles and P. gingivalis lipopolysaccharide create a potentially synergistical effect in a periimplantitis model	In vitro
Mishra T. y cols. 2024	In vitro Evaluation of Titanium Exfoliation during Simulated Surgical Insertion of Dental Implants	In vitro
Kheder y cols. 2024	Correlation between the size of released titanium particles and changes in the surface of dental implants during insertion into bone blocks: an in vitro study	In vitro
Rakic y cols. 2024	Diagnostic value of VEGF in peri-implantitis and its correlation with titanium particles: A controlled clinical study	In vitro
Wakuda y cols. 2025	Titanium particle-induced inflammasome in human gingival epithelial cells	In vitro
Fernández-Hernández y cols. 2025	Influence of the Sodium Titanate Crystal Size of Biomimetic Dental Implants on Osteoblastic Behavior: An In Vitro Study	In vitro
Antonowicz y cols. 2025	Evaluation of Titanium Particles, TNF- α , and Caspase-3 Concentrations in Patients with Bones Fixations of the Maxilla and Mandibule	In vitro

Tabla 2. Características de artículos incluidos

Autor, Año (País)	Tipo de estudio	Ambiente de Estudio	Numero de Paciente (Implantes)	Tipo de implante Utilizado o Analizado	Tratamiento de Superficie	Descripción o Estado de los Sitios	Método de Identificación de Partículas	Prevalencia y/o Ubicación de las Partículas	Descripción de la partícula	Método o Mecanismo Sospechado de Liberación de Partículas	Financiamiento
Wilson T. y cols, 2015 (Estados Unidos)	Transversal	Universitario	36 (31)	Titanio	N.R.	Biopsias de tejido blando con periimplantitis	MO, MEB-EDS	95% de Ti en tejido blando periimplantario	9 a 54 µm.	Inserción de implante, desgaste funcional, Mantenimiento	N.R.
Pettersson M. y cols, 2018 (Suecia)	Transversal	Hospitalario	24 (13)	Titanio	N.R.	Biopsias de tejido con periimplantitis	MO, MET, MEB-EDS, ICP-MS	100% de Ti en tejido de periimplantitis.	10.9 ± 35.7 µm ² .	Inserción de implante, Mantenimiento, corrosión	Fondos del condado de Västerbotten
Nelson K. y cols, 2020 (Alemania)	Transversal	Universitario	15 (15)	Titanio y Zirconio	N.R.	Biopsia de tejido blando con periimplantitis	Sincrotrón (µ-XRF, nano-XRF, µ-XANES)	100% de Ti en tejido de periimplantitis	micras hasta 100 nm	Inserción de implante, tribocorrosión, mantenimiento y corrosión	Fundación Osteology
Flatebø R. y cols, 2011 (Noruega)	Serie de Casos	Universitario	6 (6)	Titanio	N.R.	Biopsia de tejido blando con periimplantitis	LA-ICP-MS, HR-ODM	83% Ti en tejido de periimplantitis	140–2300 nm	Inserción de implante, corrosión	N.R.
Rakic M. y cols, 2022 (España)	Casos y Controles	Privado	74 (39)	Titanio	N.R.	Biopsia de tejido blando con periimplantitis	MEB-EDS	100% Ti en tejido de periimplantitis	8.9 ± 24.8 µm ² .	Desgaste funcional, fresado y mantenimiento	Ministerio de Educación y Ciencia / Academia Médica Militar
Lechner J. y cols, 2018 (Alemania)	Casos y controles	Privado	33 (14)	Titanio	N.R.	Hueso adyacente a implantes de titanio	Espectrometría	100% Ti en tejido de periimplantitis	3,200 - 50,600 µg/kg	Desgaste funcional, corrosión	N-R.

*MO: microscopía óptica; MEB: microscopía electrónica de barrido; EDS: espectroscopía de energía dispersiva; MET: microscopía electrónica de transmisión; ICP-MS: espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente; LA-ICP-MS: espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente por ablación láser; HR-ODM, Microscopía de campo Oscuro de Alta Resolución; M XRF: fluorescencia de rayos X; Ti: titanio; NR: no reportado.

TABLA 3 NEW CASTLE OTAWA: Estudio casos y controles y transversales

AUTOR	SELECCIÓN				COMPARABILIDAD	RESULTADOS			TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Rakic M. y cols.	*		*	*	**	*	*		7
Pettersson M. y cols,	*		*	*	*	*	*	*	7
Lechner J. y cols.	*		*	*	*	*	*		6
Wilson T. y cols.	*			*		*		*	4
Nelson K. y cols.	*			*		*		*	4

TABLA 4. Lista de verificación del JBI para la valoración crítica de series de casos

Evaluación: Flatebø y cols., (2011)

	Sí	No	Poco claro	No aplica
1. ¿Existían criterios claros para la inclusión en las series de casos?	X			
2. ¿Se midió la condición de forma estándar y fiable en todos los participantes incluidos en la serie de casos?	X			
3. ¿Se utilizaron métodos válidos para la identificación de la enfermedad en todos los participantes incluidos en la serie de casos?	X			
4. ¿La serie de casos tuvo una inclusión consecutiva de participantes?			X	
5. ¿La serie de casos incluyó a todos los participantes?	X			
6. ¿Se informó claramente sobre los datos demográficos de los participantes del estudio? 7	X			
7. ¿Se comunicó claramente la información clínica de los participantes?	X			
8. ¿Se informó claramente los resultados o el seguimiento de los casos?	X			
9. ¿Se facilitó información demográfica clara sobre el centro o centros que presentaron la solicitud?	X			
10. ¿Fue adecuado el análisis estadístico?	X			

Valoración global: Incluir Excluir Buscar más información