

Biosensores y dispositivos inteligentes en ortodoncia

Mario Alberto Alarcón Sánchez^{1*} y Sarah Monserrat Lomelí Martínez²

¹ Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara

² Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara

* Dirección para correspondencia: mario.alarcon9221@alumnos.udg.mx

La ortodoncia contemporánea contempla no solo el uso de alineadores y *brackets* para los movimientos de los dientes, sino también la implementación de dispositivos para evaluar los procesos que ocurren dentro de la boca. Entre estas herramientas destacan los sensores y dispositivos inteligentes, capaces de registrar información que anteriormente resultaba difícil de obtener durante los tratamientos ortodónticos convencionales (Dewan *et al.*, 2025; Koaban *et al.*, 2025; Singh *et al.*, 2025).

Estas tecnologías ofrecen distintas posibilidades, desde detectar cambios en determinadas sustancias presentes en la saliva y el líquido crevicular gingival (LCG) (Dewan *et al.*, 2025), hasta medir las fuerzas ejercidas por los aparatos ortodónticos (Koaban *et al.*, 2025) y registrar el tiempo de uso de los retenedores (Singh *et al.*, 2025). Su desarrollo podría proporcionar información adicional para el seguimiento del paciente y facilitar la evaluación de determinados aspectos del tratamiento ortodóntico (Dewan *et al.*, 2025; Koaban *et al.*, 2025; Singh *et al.*, 2025).

Entre los avances significativos destacan los biosensores, que incorporan elementos de reconocimiento biológico para detectar sustancias específicas y transformar esa interacción en una señal medible (Huang *et al.*, 2021). Sin embargo,

es importante distinguirlos de los sensores electrónicos incorporados en dispositivos ortodónticos inteligentes, ya que no todos funcionan mediante los mismos principios (Koaban *et al.*, 2025; Singh *et al.*, 2025).

En el presente artículo se describen los biosensores y los dispositivos inteligentes aplicados a la ortodoncia, sus principales características, posibles aplicaciones y limitaciones, así como su potencial para contribuir al seguimiento del tratamiento ortodóntico.

¿Qué son los biosensores?

Los biosensores son dispositivos diseñados para detectar sustancias específicas mediante un elemento de reconocimiento biológico y transformar esa interacción en una señal medible (Dewan *et al.*, 2025). Generalmente, están constituidos por tres componentes: 1) un elemento biológico, como una enzima o un anticuerpo, que reconoce la sustancia de interés; 2) un transductor, que convierte esa interacción en una señal medible; y 3) un sistema que procesa o muestra el resultado (Thévenot *et al.*, 2001; Huang *et al.*, 2021).

Es importante diferenciarlos de otros tipos de sensores. Algunos biosensores incorporan materiales o estructuras nanométricas, dando lugar a los denominados nanobiosensores. La escala nanométrica comprende dimensiones aproximadas de entre 1 y 100 nanómetros (un nanómetro equivale a una milmillonésima parte de un metro), aunque esto no significa que todo el dispositivo tenga ese tamaño (Huang

et al., 2021; Kianbakht *et al.*, 2026). Por su parte, los microsensores electrónicos pueden registrar variables físicas como presión, fuerza o temperatura, sin requerir necesariamente un elemento de reconocimiento biológico. Estos últimos pueden integrarse en dispositivos ortodónticos inteligentes, como *brackets* y retenedores, sin que ello implique que sean biosensores (Koaban *et al.*, 2025; Singh *et al.*, 2026).

En odontología, los biosensores representan una tecnología prometedora para detectar determinadas sustancias presentes en los fluidos orales, lo que podría contribuir al estudio de diferentes procesos biológicos relacionados con la salud bucal de los pacientes (Dewan *et al.*, 2025).

Características de los biosensores

Los biosensores poseen características que favorecen su aplicación en distintas áreas odontológicas. Entre ellas destacan su capacidad para detectar concentraciones muy pequeñas de determinadas sustancias, su sensibilidad y la posibilidad de obtener mediciones rápidas y precisas (Huang *et al.*, 2021). Además, el uso de materiales nanométricos (nanobiosensores) permite desarrollar sistemas de detección miniaturizados que, dependiendo de su diseño, pueden analizar muestras biológicas como la saliva y el LCG (Dewan *et al.*, 2025; Deshpande *et al.*, 2025).

Algunos de estos dispositivos también pueden integrarse con sistemas electrónicos para procesar y transmitir información, lo que abre nuevas posibilidades

para el seguimiento de determinados cambios biológicos. Estas capacidades dependen de las características tecnológicas de cada sistema y no están presentes en todos los biosensores (Dewan *et al.*, 2025).

Tipos de biosensores

Los biosensores pueden clasificarse según el mecanismo que utilizan para transformar el reconocimiento de una sustancia en una señal medible. Entre los principales tipos se encuentran los electroquímicos, que generan señales eléctricas; los ópticos, que detectan cambios en propiedades de la luz, como la intensidad o la fluorescencia; los piezoeléctricos, que identifican pequeñas variaciones de masa sobre una superficie sensible; y los termométricos, que detectan cambios de temperatura asociados con una reacción biológica. Cada uno presenta características particulares y su elección depende de la sustancia que se busca identificar y del objetivo del análisis (Huang *et al.*, 2021).

Dispositivos inteligentes en ortodoncia: *brackets* y retenedores

Además de los biosensores, la ortodoncia ha incorporado otras tecnologías de detección, como los microsensors electrónicos integrados en dispositivos inteligentes. Uno de los ejemplos más importantes es el desarrollo de *brackets* inteligentes, que son aparatos ortodónticos que incorporan sensores electrónicos

capaces de medir las fuerzas aplicadas sobre los dientes durante el tratamiento. Estos sistemas pueden integrar sensores de deformación o piezorresistivos, microchips electrónicos y, en algunos casos, sistemas de transmisión de datos, lo que permite registrar la magnitud y dirección de las fuerzas ortodónticas. Su desarrollo busca mejorar el seguimiento biomecánico del tratamiento y facilitar ajustes más precisos de las fuerzas aplicadas. Aunque diversos prototipos han demostrado capacidad para medir fuerzas y momentos ortodónticos, todavía se requiere mayor evidencia clínica para determinar si estas tecnologías mejoran los resultados del tratamiento y reducen los movimientos dentales indeseados a largo plazo (Koaban *et al.*, 2025).

Otro ejemplo son los retenedores inteligentes, dispositivos removibles que incorporan microsensores electrónicos capaces de registrar el tiempo durante el cual el paciente utiliza el aparato. Algunos de estos sensores detectan cambios en la temperatura intraoral para identificar los periodos de uso y almacenan información que posteriormente puede ser consultada por el ortodoncista. Esto permite evaluar de manera objetiva el cumplimiento de las indicaciones y facilitar un seguimiento más personalizado durante la etapa de retención. Aunque algunos estudios han observado mejoras en la cooperación de los pacientes al saber que su uso está siendo monitoreado, la evidencia científica todavía no demuestra que estos dispositivos aumenten de manera consistente el tiempo de utilización ni que reduzcan directamente el riesgo de recidiva ortodóntica (Singh *et al.*, 2026).

Los *brackets* y retenedores inteligentes permiten obtener información sobre distintas variables del tratamiento ortodóntico. En la Figura 1 se presentan sus principales características y funciones.

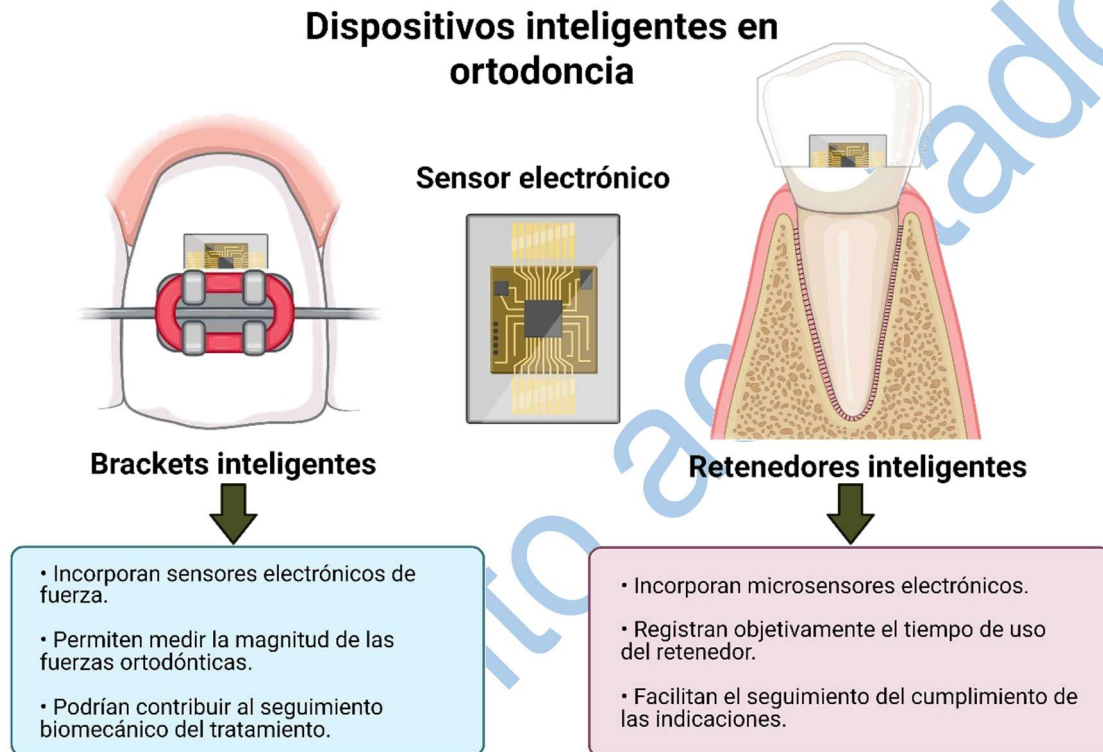


Figura 1. Representación esquemática de los brackets y retenedores inteligentes utilizados en ortodoncia, que incorporan sensores electrónicos para registrar variables relacionadas con las fuerzas ortodónticas y el tiempo de uso de los aparatos de retención, respectivamente. Elaborada con BioRender.

Limitaciones

Aunque los biosensores y los dispositivos ortodónticos inteligentes representan tecnologías prometedoras, su aplicación clínica todavía es limitada y muchas de sus

posibles aplicaciones continúan en desarrollo. Diversos sistemas se han evaluado principalmente en estudios de laboratorio o modelos experimentales, por lo que aún se requiere mayor evidencia sobre su funcionamiento durante tratamientos ortodónticos prolongados (Dewan *et al.*, 2025; Deshpande *et al.*, 2025; Ace *et al.*, 2026; Koaban *et al.*, 2025; Singh *et al.*, 2025).

Otra limitación importante es el costo y la disponibilidad de estas tecnologías. Algunos dispositivos requieren equipos especializados o procesos de fabricación complejos, lo que dificulta su incorporación a la práctica clínica habitual. Además, las condiciones de la cavidad oral, como la humedad, los cambios de temperatura, la saliva y la actividad masticatoria, pueden afectar su funcionamiento y la precisión de las mediciones (Dewan *et al.*, 2025; Deshpande *et al.*, 2025; Ace *et al.*, 2026). También es necesario evaluar aspectos como la biocompatibilidad de los materiales, la durabilidad de los sensores, la comodidad para el paciente y la estabilidad de las mediciones a lo largo del tiempo. Asimismo, la calibración y reproducibilidad de los resultados, el suministro de energía y la seguridad y protección de los datos del paciente, especialmente cuando existe transmisión inalámbrica de información, constituyen desafíos que deben considerarse antes de su implementación generalizada.

Los futuros estudios deberían centrarse en la validación de estas tecnologías en escenarios clínicos reales, especialmente durante tratamientos ortodónticos prolongados. También será importante desarrollar dispositivos más resistentes y fáciles de utilizar, así como explorar la posible integración de sistemas de detección

en alineadores transparentes. Finalmente, será necesario establecer protocolos que permitan interpretar adecuadamente los resultados obtenidos y determinar su utilidad clínica.

Conclusión

Los biosensores y dispositivos inteligentes representan tecnologías emergentes con posibles aplicaciones en ortodoncia, particularmente para obtener información que contribuya al seguimiento del tratamiento. Aunque algunos sistemas han demostrado capacidades de detección y medición, sus beneficios clínicos todavía requieren mayor investigación. Su incorporación a la práctica clínica habitual enfrenta desafíos técnicos y demanda estudios que permitan evaluar su precisión, seguridad y utilidad a largo plazo.

Referencias

Ace PJ, Vahidpour M, Heidari MM *et al.* (2026) Innovative nanosensors for the detection of oral cancer biomarkers. *Clinica Chimica Acta* 579:120614. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cca.2025.120614>.

Dewan M, Shrivastava D, Goyal L, *et al.* (2025) Recent Advancements and Applications of Nanosensors in Oral Health: Revolutionizing Diagnosis and Treatment. *Eur J Dent* 19:286-297. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0044-1792010>.

Deshpande AS, Daddanala A, Kaur M *et al.* (2025) Nanotechnology in dentistry: Bridging science and practice. *Bioinformation* 21:522-528. DOI: <https://doi.org/10.6026/973206300210522>.

Huang X, Zhu Y, Kianfar E. (2021) Nano biosensors: properties, applications and electrochemical techniques. *J Mater Res Technol* 12:1649–1672. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.048>.

Kianbakht C, Ghelichli M, Attaran Khorasani A *et al.* (2026). Salivary nanobiosensors for oral diseases: from biomarker discovery to clinical translation in precision dentistry. *Expert Rev Mol Diagn* 8:1-16. DOI: <https://doi.org/10.1080/14737159.2026.2745670>.

Koaban AM, Alwadai JM, Alghamdi AM *et al.* (2025) Recent Advances in Orthodontic Brackets: From Aesthetics to Smart Technologies. *Cureus* 17:e85385. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.85385>.

Singh AK, Ahuja D, Batra P *et al.* (2025) Assessing the effectiveness of smart retainers for orthodontic retention: A systematic review and meta-analysis. *International Orthodontics* 24:101093. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2025.101093>.

Thévenot DR, Toth K, Durst RA *et al* (2021). Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. *Biosens Bioelectron* 16:121-31. doi: [https://doi.org/10.1016/s0956-5663\(01\)00115-4](https://doi.org/10.1016/s0956-5663(01)00115-4).