



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad



Editorial
ITM

La Tekhné

/// ISSN 2744-8886 /// Edición 2026-1 /// No. 118



PÁGINAS

06 - 09

Editorial. Tecnología y humanidad

[Editorial ITM](#)

10 - 15

La desertión no da consejos, los datos sí

[Laura Escobar Rojo](#)

16 - 23

Análisis sensorial del café: cata vs. Nariz electrónica

[Karen J. Montoya-Salazar - Melissa Naranjo-Mejía - Edilson Delgado-Trejos](#)

24 - 33

Nariz electrónica: detección del cáncer a través del aroma

[Laura Manuela García García - Marcela Vallejo Valencia - Cristhian Manuel Durán Acevedo - Edilson Delgado Trejos](#)

34 - 39

Prótesis de cadera: proceso y recuperación de la movilidad

[Juliana Vallejo Agudelo - Saray Rojas Giraldo - Tomás Morales García](#)

40 - 44

Innovación al alcance de la mano: prótesis para amputaciones parciales de dedo

[Sofía Valencia Avendaño - Óscar Andrés Salazar López - Sarita Aguado Escudero - David Fernando Freire Montoya](#)

46 - 62

De la amalgama a la biocerámica: la evolución de los materiales dentales

[Libia Baena - Jose A. Tamayo](#)





La Tekhné

RECTOR

Alejandro Villa Gómez

VICERRECTOR DE DOCENCIA

Hernán de Jesús Salazar

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Johnson Garzón Reyes

COMITÉ EDITORIAL

Mauricio Vanegas Gil
Director Editorial

Clara María Mejía Zea
Profesional Universitario Editorial ITM

Valeria Puerta Tamayo
Editor de mesa

CORRECCIÓN DE ESTILO

Martha Cecilia Caballero Jerez

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Manuela Escobar Ortiz
Marcela Londoño Agudelo
Julio Mauricio Raigosa Álvarez

INFORMACIÓN CARÁTULA

Creada con IA.

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ITM

Reacreditada en Alta Calidad,
adscrita al municipio de Medellín

www.itm.edu.co

Campus:

Robledo: Calle 73 N° 76A - 354
Fraternidad: Calle 54A N° 30 - 31
La Floresta: Calle 47A N° 85 - 20
Prado: Carrera 51 N° 58 - 69
Castilla: Carrera 65 N° 98A - 75

<https://www.itm.edu.co/la-tekhne/>

Contacto: editorialitm@itm.edu.co

La Tekhné es el periódico
institucional del ITM.

Las opiniones y noticias publicadas en él son
responsabilidad exclusiva del autor o autores, haciendo
uso de la libertad de expresión que las directivas de
la Institución Universitaria otorgan al trabajo de sus
estamentos académicos y administrativos.

Editorial

Tecnología y humanidad







El *boom* de la inteligencia artificial (IA) reactiva debates que, en realidad, han estado sobre la mesa en cada revolución tecnológica: ¿cuál es el papel de la tecnología en la sociedad?, y posiblemente el más recurrente ¿hasta qué punto la tecnología podría llegar a reemplazarnos?

Este tipo de discusiones suele enfocarse en el crecimiento acelerado de herramientas de aprendizaje automático o *machine learning* (ML), capaces de analizar grandes cantidades de información y generar nuevos contenidos mediante lo que se conoce como inteligencia artificial generativa (IAG). Plataformas como ChatGPT, Gemini o Claude son algunos de los ejemplos más visibles en esta transformación tecnológica. De hecho, según el Informe Global de Adopción de IA publicado por Microsoft en 2025, una de cada seis personas en todo el mundo utiliza herramientas de inteligencia artificial generativa.

Frente al aumento en la oferta y la demanda de estas tecnologías, se generan dudas en torno a los límites de su utilización, y si seguimos siendo

capaces de crear, imaginar y resolver problemas sin depender de la IA. Más allá de automatizar procesos o usar estas herramientas para casi cada interrogante que nos surge durante el día, la cuestión de fondo es si el uso de estas herramientas llevará a que el ser humano pierda su capacidad de enfrentar desafíos y encontrar soluciones que den respuesta a necesidades reales.

Esta edición de *La Tekhné* propone una mirada a esa relación entre tecnología y humanidad. En las investigaciones de docentes, estudiantes y egresados, la inteligencia artificial es aplicada en diferentes etapas de sus proyectos, no como un reemplazo a la creatividad del ser humano a la hora de desarrollar nuevas soluciones tecnológicas, sino como una herramienta que potencia sus proyectos, agiliza procesos, logra resultados más estables e impacta de forma positiva la vida humana.

El número 118 de la revista incluye el desarrollo de un *software* que predice la deserción escolar y ofrece estrategias más humanas y precisas de acompañamiento a los estudiantes, así como



investigaciones sobre el uso de las narices electrónicas para detectar señales asociadas al cáncer de manera temprana y para fortalecer procesos de control de calidad del café.

Por otro lado, se presentan desarrollos que integran diseño asistido por computador e impresión 3D para la generación de prótesis destinadas a personas con amputaciones parciales de dedo y producción de prótesis de cadera que buscan devolver movilidad y mejorar la calidad de vida de los pacientes. Finalmente, explora la transformación de los materiales dentales, desde la amalgama hasta las biocerámicas, para el desarrollo de tratamientos más seguros y funcionales.

Estas investigaciones reflejan el compromiso institucional con el liderazgo en ciencia, tecnología e innovación, alineado con el Plan de Desarrollo 2026-2029: una visión que integra el arte y la ciencia, y que promueve el desarrollo humano integral a partir de la tecnología, la ciencia y el arte (Institución Universitaria ITM, 2026).

Los resultados alcanzados durante los últimos años evidencian la solidez de este esfuerzo y reflejan el impulso científico por medio de una mayor inversión para producción académica, el crecimiento del 32 % en los semilleros de investigación y el reconocimiento oficial de la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) por parte de Minciencias, que posiciona al ITM como un actor clave en la transferencia de conocimiento hacia los sectores productivo y social (Institución Universitaria ITM, 2026).

Las investigaciones que presentamos en esta edición son, precisamente, la materialización de ese propósito institucional: demostrar que tecnología y humanidad no son opuestas, sino que cada una alcanza su máximo potencial cuando la innovación es entendida como una herramienta que permite comprender el mundo y transformarlo en bienestar para la sociedad.



[La deserción no da consejos, los datos sí]

Laura Escobar Rojo ¹

¹Estudiante, Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingenierías,
Institución Universitaria ITM.

Cambios laborales, dificultades económicas, dudas vocacionales o problemas personales: detrás de cada retiro académico hay una historia distinta. Con apoyo de inteligencia artificial, investigadores de la Institución Universitaria ITM desarrollaron un sistema que no solo predice la deserción, sino que ofrece estrategias de acompañamiento más humanas y precisas.



Gestionar la deserción estudiantil no se trata solo de cifras o estadísticas institucionales. Por cada cancelación de matrícula hay un escenario distinto: estudiantes que deben cambiar sus horarios para trabajar; aquellos que no pueden asistir a la universidad debido a dificultades económicas que los obligan a centrarse en otros compromisos; otros que han perdido su confianza vocacional; algunos que tienen problemas familiares o, simplemente, quienes no tienen tiempo para complementar el proceso universitario más allá de las clases.

Es común que, cuando un estudiante decide retirarse, la institución actúe después de que la decisión está prácticamente tomada. Y ahí surge una de las preguntas fundamentales que enfrenta la educación superior: ¿cómo intervenir cuando llega el momento y de una manera que sea realmente beneficiosa?

En los últimos años se han propuesto varios sistemas de alerta temprana para abordar este problema. SisALTem (Maya Játiva, 2022) es una herramienta que busca utilizar la minería de datos para detectar riesgos de repetición y deserción de estudiantes. Otro grupo de trabajo está conformado por Jara Sánchez y Ferreira Moura Jr. (2023), quienes desarrollaron modelos predictivos basados en aprendizaje automático para identificar estudiantes que están en riesgo de abandonar. De igual forma, López Martínez y Barrera Rojas (2024) propusieron un sistema de proceso de admisión, mientras que Goren, Cohen y Rubinstein (2024) utilizaron herramientas como XGBoost y redes neuronales para capturar los indicadores de la deserción académica.

Como se puede inferir en este punto, todos estos trabajos comparten un objetivo común: predecir el riesgo de deserción. En este contexto, junto con Stefanía Valencia García y con la orientación

de las docentes Laura Stella Vega Escobar y Paula Andrea Rodríguez Marín, se desarrolló una propuesta enfocada en una necesidad adicional: no solo predecir, sino también definir cómo actuar. Porque entender que un estudiante está en riesgo no siempre es suficiente si no existe una trayectoria clara de acompañamiento posterior a esa predicción.

Y ni hablar de cuando el problema requiere una respuesta más personalizada. En el contexto de la Institución Universitaria ITM, una cancelación de matrícula ocurre cuando un estudiante solicita retirarse de todas las materias durante un semestre; esto puede significar una pausa temporal, pero muchas veces implica una salida definitiva de la academia.

El problema con esto, por supuesto, es que no todas las personas abandonan la universidad por las mismas razones. No es lo mismo un estudiante que deja el aula porque su horario de

trabajo ha cambiado que alguien con dificultades emocionales, problemas de transporte o simplemente sin orientación vocacional. La realidad es que cada escenario exige un tipo diferente de respuesta y, sin embargo, a menudo las estrategias institucionales son demasiado amplias. En este punto fue donde surgió la verdadera oportunidad.

Una pregunta sencilla pero significativa guio este proyecto: **¿cómo podría la tecnología facilitar el acompañamiento del estudiante hacia la siguiente etapa en la universidad de una manera más humana?** Esto llevó al diseño de un sistema para sugerir caminos individualizados —recomendaciones de rutas personalizadas— a partir de la identificación mediante la IA de las posibles causas de cancelación de matrícula. Esta información se utilizó para derivar automáticamente al estudiante hacia la estrategia institucional más adecuada. En los últimos años se han propuesto otras estrategias complementarias.



Por otro lado, escuchar también implica analizar datos. El proyecto se desarrolló a partir de una base de datos de 1885 registros del Departamento de Permanencia de la Institución Universitaria ITM, correspondiente a estudiantes que solicitaron la cancelación de matrícula. Además de factores académicos, sociodemográficos y contextuales, un aspecto clave del modelo fue un campo de texto libre llamado Observaciones, en el que los consejeros registraban las explicaciones dadas por los estudiantes al solicitar la cancelación. Ese campo contenía la información más valiosa.

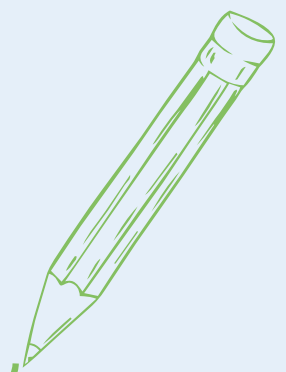
Allí aparecían frases como dificultades laborales, mudanzas, problemas económicos, conflictos personales o tiempo insuficiente para estudiar, entre muchas otras razones que a veces no encajan en una casilla de selección. El desafío era encontrar la forma de que un sistema capturara la idea detrás del lenguaje humano y transformar ese texto en información útil para la toma de decisiones.

Entonces, para llevar a cabo esto, se utilizó el procesamiento de lenguaje natural (NLP), que es un tipo de tecnología de inteligencia artificial que permite analizar texto escrito y detectar patrones en este. En primer lugar, los textos fueron limpiados y normalizados; se eliminaron caracteres innecesarios, palabras que no aportaban al análisis y registros duplicados. Posteriormente, se aplicó una técnica de lematización con spaCy, que reduce las palabras a su forma base para mejorar su interpretación. De este modo, el sistema aprendió a notar que términos como «trabajando», «trabajó» o

«trabajo» formaban parte de la misma idea. Luego, se introdujo TF-IDF, un método que transforma el texto en vectores numéricos y ayuda a identificar palabras que tienen mayor importancia en cualquier conjunto de observaciones. Así, el lenguaje dejó de ser meramente texto y se convirtió en información procesable.

El análisis de los registros reveló seis razones principales para su cancelación de matrícula: cambio en el horario de trabajo, problemas de vivienda y de empleo, razones personales, orientación vocacional y poca disponibilidad para estudiar. En conjunto, esto llevó a la definición de **seis razones, dos modelos y una mejor decisión.**

Se entrenaron dos modelos supervisados dentro de esta clasificación, Random Forest y XGBoost; ambos tenían el desafío de determinar en cuál de estas seis categorías se ubicaba cada nuevo caso. Por lo tanto, la muestra se divide en datos de entrenamiento y pruebas en un 80-20 %, utilizando sobremuestreo para corregir el desequilibrio de clases y mejorar la calidad de la predicción. La figura 1 ilustra el resultado al mostrar qué tan bien cada modelo logra reconocer esas causas.



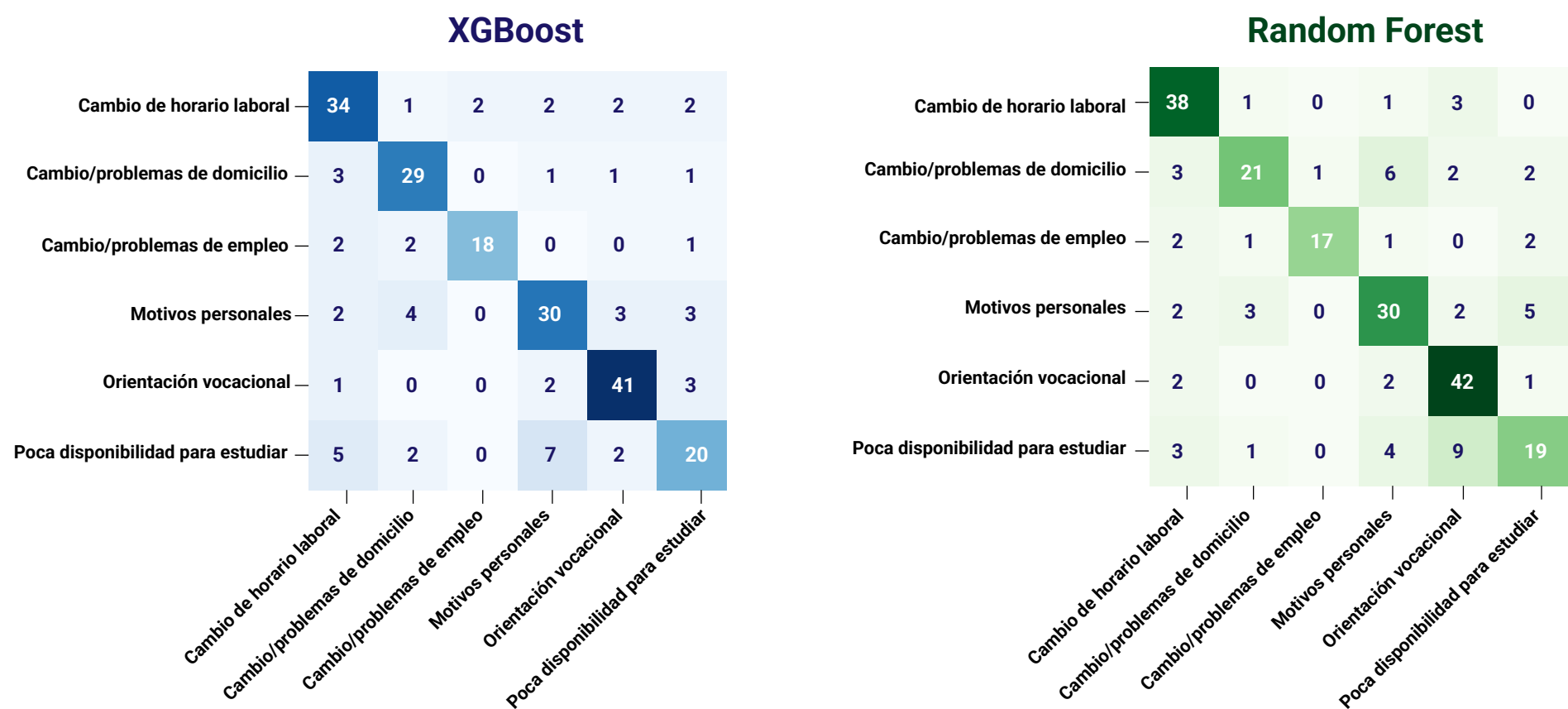


Figura 2. Matriz de confusión con las 6 clases y los clasificadores XGBoost y Random Forest
Fuente: elaboración propia a partir de modelo desarrollado en Python (Jupyter Notebook).

Dentro de los hallazgos, se encontró que la precisión del modelo XGBoost era del 83.6 %, frente al 74 % de Random Forest. Esto confirmó que era posible identificar la causa más común de cancelación de matrícula a partir de los textos registrados por los orientadores.

Los valores que aparecen en la diagonal representan los aciertos, mientras que los demás indican en qué casos el sistema confunde una razón con otra.

Ambos modelos funcionaron bien, especialmente en casos como cambio de horario laboral y orientación vocacional. No obstante, XGBoost presentó menos confusiones en categorías más similares como problemas de empleo, motivos personales o poca disponibilidad para estudiar, así que fue seleccionado modelo principal porque permitía una clasificación más precisa y un mejor acompañamiento al estudiante.

Muchos sistemas son capaces de decir quién está en riesgo, pero muy pocos determinan cómo se utilizará esa información. Por eso, esta propuesta apuntó específicamente a pasar de la predicción a la acción, así que cada razón se asoció con una vía de apoyo institucional puntual; es decir, si se identifica un problema, por ejemplo, en torno al empleo o a cambios laborales, el sistema puede sugerir alternativas en Bienestar Institucional o estrategias de flexibilidad académica. En casos de orientación vocacional, activa procesos de apoyo profesional. Si se detecta poca disponibilidad para estudiar, recomienda tutorías o apoyo académico. Esto permitió reducir los tiempos de respuesta, una mejor toma de decisiones y una atención mucho más enfocada desde el principio.

De modo que el asesor en este caso no es reemplazado por la inteligencia artificial, sino que se ve fortalecido, le permite analizar más

casos en menos tiempo y actuar con mayor respaldo. El punto central es la tecnología con un propósito social. Cuando la gente escucha «inteligencia artificial», generalmente piensa en automatización, productividad o eficiencia; sin embargo, en este caso el verdadero valor estaba en otro lugar. No se planeó que este proyecto reemplazara los procesos humanos, sino que los potenciara para un mejor acompañamiento a los estudiantes. Una institución universitaria no puede escapar de las dificultades que enfrenta un estudiante, pero puede responder más rápido, de manera más empática y personal cuando surgen esos desafíos.

La tecnología se convierte en una forma más eficiente de escuchar. Si pensamos bien, escuchar mejor también es una forma de permanencia y eso puede abarcar también crear soluciones que aborden problemas reales y puedan impactar a una comunidad. En realidad, este proyecto nació de ideas conjuntas que confluyeron en el propósito común de usar la ingeniería de *software*, el análisis de datos y la inteligencia artificial para abordar un problema real en la educación superior. Ya no se trataba solo de crear un modelo predictivo, sino de construir una herramienta útil, aplicable y con valor institucional, lo cual también es innovación.

«La inteligencia artificial no reemplaza al orientador; fortalece su capacidad de acompañar mejor y actuar a tiempo».

Más allá de los algoritmos, se demuestra que realmente se pueden construir sistemas más eficientes para mejorar la retención de estudiantes, pero la reflexión más importante está fuera de sus modelos o métricas: la retención no depende solo de los algoritmos, requiere que las instituciones actúen con sensibilidad, prospectiva y juicio humano. La inteligencia artificial puede ser un gran aliado, pero su verdadero valor radica en la perspectiva de quienes son conscientes de que detrás de cada cancelación no hay una variable, hay una historia, y de que a veces una intervención oportuna puede cambiar por completo el destino de un estudiante.

Referencias

1. Goren, O., Cohen, L., and Rubinstein, A. (2024). Early Prediction of Student Dropout in Higher Education using Machine Learning Models. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12729834>
2. Jara Sánchez, D. M., y Ferreira Moura Jr., J. (2023). Modelo de evaluación temprana del riesgo de deserción en estudiantes universitarios utilizando aprendizaje de máquina. En R. del Valle (Ed.), *Actas del XII Congreso Latinoamericano sobre el Abandono en la Educación Superior CLABES* (pp. 198-207). Universidad Católica de Temuco. <https://revistas.utem.cl/index.php/clabes/article/view/233> [acceso restringido]
3. López Martínez, Y., y Barrera Rojas, H. Z. (2024). *Prototipo de un sistema de alerta temprana de deserción desde el proceso de admisión de aspirantes de la Facultad de Ingeniería en la UNAC* [Trabajo de grado, Corporación Universitaria Adventista]. <https://www.unac.edu.co/publicacion/prototipo-de-un-sistema-de-alerta-temprana-de-desercion-desde-el-proceso-de-admision-de-aspirantes-de-la-facultad-de-ingenieria-en-la-unac/> [acceso restringido]
4. Maya Játiva, Y. A. (2022). *Sistema de alerta temprana de potencial repitencia y deserción estudiantil (SisALTem)* [Tesis de maestría, Universidad de Caldas]. <https://repositorio.ucaldas.edu.co/handle/ucaldas/18080>



Análisis sensorial del café: cata vs. nariz electrónica

Karen J. Montoya-Salazar¹

Melissa Naranjo-Mejía²

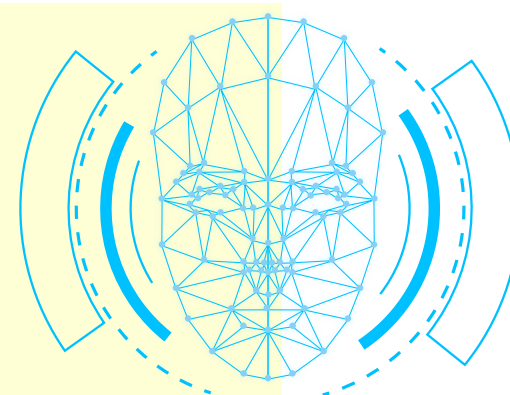
Edilson Delgado-Trejos³

¹Egresada Ingeniería de la Calidad, Laboratorio AMYSOD, Grupo Calidad, Metrología y Producción (CM&P), Institución Universitaria ITM.

²Estudiante Ingeniería de la Calidad, Laboratorio AMYSOD, Grupo Calidad, Metrología y Producción (CM&P), Institución Universitaria ITM.

³Profesor titular 1, Departamento de Calidad y Producción, Líder del Laboratorio AMYSOD, Institución Universitaria ITM, edilsondelgado@itm.edu.co

¿Sabías que existen tecnologías emergentes capaces de imitar los sentidos humanos y que apoyan los procesos de control de calidad, haciendo más rápida y objetiva la toma de decisiones en cuanto a la calidad de productos como el café?



En la industria de alimentos, antes de que un producto sea lanzado al mercado, es fundamental comprobar que cumple con las características previamente establecidas, conocidas como estándares o patrones de calidad. Para esto, se comparan los resultados obtenidos con lo que se espera del producto final. En la industria del café, esta comparación consiste en un proceso de evaluación sensorial que llevan a cabo panelistas humanos, es decir, personas entrenadas para analizar las características del grano mediante sus sentidos. Ellos evalúan atributos como la apariencia, el aroma, el sabor y la textura, lo que permite identificar cómo es percibido el producto desde la experiencia del consumidor. El proceso también se conoce como análisis organoléptico y es una herramienta clave en los procesos de control de calidad, ya que ayuda a garantizar que los productos cumplan con las exigencias de los mercados competitivos y globales (Yadav et al., 2025). Un ejemplo claro es una taza de café, pues, cuando se consume, además de su sabor y su color, se perciben su aroma, su textura e incluso aquellas sensaciones que quedan al final, lo cual se traduce en toda una experiencia por medio de los sentidos.

La complejidad sensorial del café hace que este análisis cobre mayor relevancia, aunque su calidad y

características no dependen únicamente del grano en sí, sino de un conjunto de procesos que se inician durante el cultivo y se desarrollan a lo largo de la poscosecha, el tueste y etapas posteriores (Worku et al., 2022). En este contexto, resulta fundamental comprender cómo se originan las sensaciones que se perciben al olerlo.

1. ¿Por qué se percibe el olor?

Para entender la terminología, hay que dejar claro que todo lo que se percibe como olor es causado por compuestos volátiles que tienen la capacidad de evaporarse fácilmente, dispersarse en el aire y, por ende, ser detectados por el sistema olfativo humano o artificial (Cao et al., 2023). Estos compuestos pueden ser de origen orgánico o inorgánico.



2. Compuestos orgánicos e inorgánicos

Los compuestos orgánicos se caracterizan por contener carbono en su estructura, generalmente unido a hidrógeno, y suelen encontrarse en sustancias propias de los seres vivos o producidas por ellos, como azúcares, proteínas y grasas. Por su parte, los compuestos inorgánicos no presentan esta estructura y se asocian comúnmente a sustancias minerales o gases (Shaikh y Shaikh, 2023).

Aunque los alimentos contienen compuestos orgánicos desde su estado inicial, estos no siempre se perciben con intensidad, ya que la cantidad de sustancias volátiles presentes puede ser baja o tener limitado impacto sensorial. Por esto, en productos como el café, el olor en estado crudo suele ser débil o poco característico y se potencia con el proceso de tostión.

3. La poscosecha: el proceso que transforma el café

Después de su recolección en forma de cereza, el grano de café puede ser sometido a diferentes métodos de procesamiento que influyen directamente en su calidad y en el desarrollo de sus características sensoriales. A continuación, los principales métodos (Cao et al., 2023).

3.1 El procesamiento en seco

También conocido como método natural, consiste en secar las cerezas completas sin retirar la pulpa inmediatamente después de la cosecha. Durante este proceso, el fruto permanece intacto mientras se somete al secado, generalmente expuesto al sol. Los caficultores deben revolverlas constantemente para lograr un secado homogéneo, evitar la acumulación de humedad y reducir el riesgo de aparición de



hongos que puedan afectar la calidad del grano. Como alternativa, existen métodos como el secado mecánico, en los cuales se emplean equipos que generan aire caliente para acelerar el proceso. Este tipo de secado permite un mayor control de variables como la temperatura y la humedad, aunque debe realizarse cuidadosamente para no comprometer las características del café.

3.2 El procesamiento lavado o húmedo

Es uno de los más utilizados en la producción de café y se caracteriza por el uso de agua en varias de sus etapas. Este proceso se inicia con el despulpado, en el que se retira la cáscara de la cereza y el grano queda cubierto por una capa de mucílago, una sustancia viscosa y pegajosa rica en azúcares. Posteriormente, se lleva a cabo la fermentación, cuyo objetivo es permitir que microorganismos naturales degraden este mucílago, haciéndolo menos adherente y facilitando su eliminación. Este proceso puede demorar entre 12 y 36 horas, como lo indican (Sánchez-Riaño et al., 2024). Durante este también se producen cambios en la composición del grano que influirán en su perfil sensorial. Una vez finalizada esta etapa, el café se lava con agua limpia para retirar completamente los residuos y, finalmente, se somete a secado, extendiendo el grano en camas elevadas hasta alcanzar un contenido de humedad adecuado.

3.3 El procesamiento semihúmedo

También conocido como método *honey*, combina características del método seco y del método lavado. En este proceso, las cerezas de café son despulpadas, pero, a diferencia del método húmedo, el grano no se lava completamente, por lo que conserva parte del mucílago que permanece adherido durante el secado. A diferencia del método lavado, este proceso no incluye una etapa de fermentación controlada; en su lugar, los granos se extienden directamente en terrazas o patios para su secado. Allí ocurre una fermentación parcial que

influye en el desarrollo del perfil sensorial del café. Existen variaciones de este método, como *honey amarillo*, *rojo* y *negro*, las cuales se diferencian principalmente por la cantidad de mucílago que se conserva y las condiciones de secado, lo que incide directamente en el dulzor, el cuerpo y la complejidad del café.

Independientemente del método de procesamiento utilizado, el café debe someterse a un proceso de secado hasta alcanzar un contenido de humedad adecuado, generalmente entre el 10 % y el 12 %, lo que garantiza su conservación, estabilidad y calidad. Durante esta etapa, el control del secado es fundamental para evitar defectos como la aparición de hongos o fermentaciones indeseadas.

A lo largo de las etapas de poscosecha, se modifican compuestos como azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos que actúan como precursores, es decir, sustancias presentes en el grano que, durante el tueste, se transforman en compuestos orgánicos volátiles responsables del perfil sensorial final. De esta manera, cada método de procesamiento no solo condiciona la calidad del café, sino que determina el potencial aromático y sensorial que se desarrollará en la taza.

4. El tueste: donde nace el aroma del café

Durante el proceso de tostado se generan diferentes familias de compuestos orgánicos volátiles (COV), fundamentales para intensificar el aroma del café. La exposición del grano a altas temperaturas desencadena múltiples reacciones químicas, entre ellas, la reacción de Maillard. En este proceso, los azúcares y aminoácidos presentes en el grano reaccionan entre sí, dando lugar a la formación de numerosos compuestos volátiles (véase la figura 1), responsables del desarrollo del aroma, el color y el sabor del café.

Según Alcántara et al. (2025), el tueste para el café se clasifica en tres tipos: claro, medio y oscuro, los cuales influyen en la acidez, el amargor y el cuerpo del café, con una estrecha relación entre tiempo y temperatura de este proceso. De esta forma, se puede adaptar el perfil sensorial según las preferencias del consumidor, pese a que la elección de tueste y la temperatura varían dependiendo del grano, el perfil deseado y el método de preparación. El rango más utilizado según varios estudios en el tueste está entre

180 °C y 250 °C. Durante este proceso de tuestión existen momentos importantes como la detección del «primer *crack*» (primer estallido), que indica el momento en el que el grano ha alcanzado un nivel importante de desarrollo químico y físico, ayudando a decidir cuándo detener la tuestión para alcanzar el perfil deseado. Posteriormente, el café desarrolla nuevas características dentro de su perfil sensorial, entre ellas la fragancia y el aroma, términos que suelen confundirse con frecuencia.

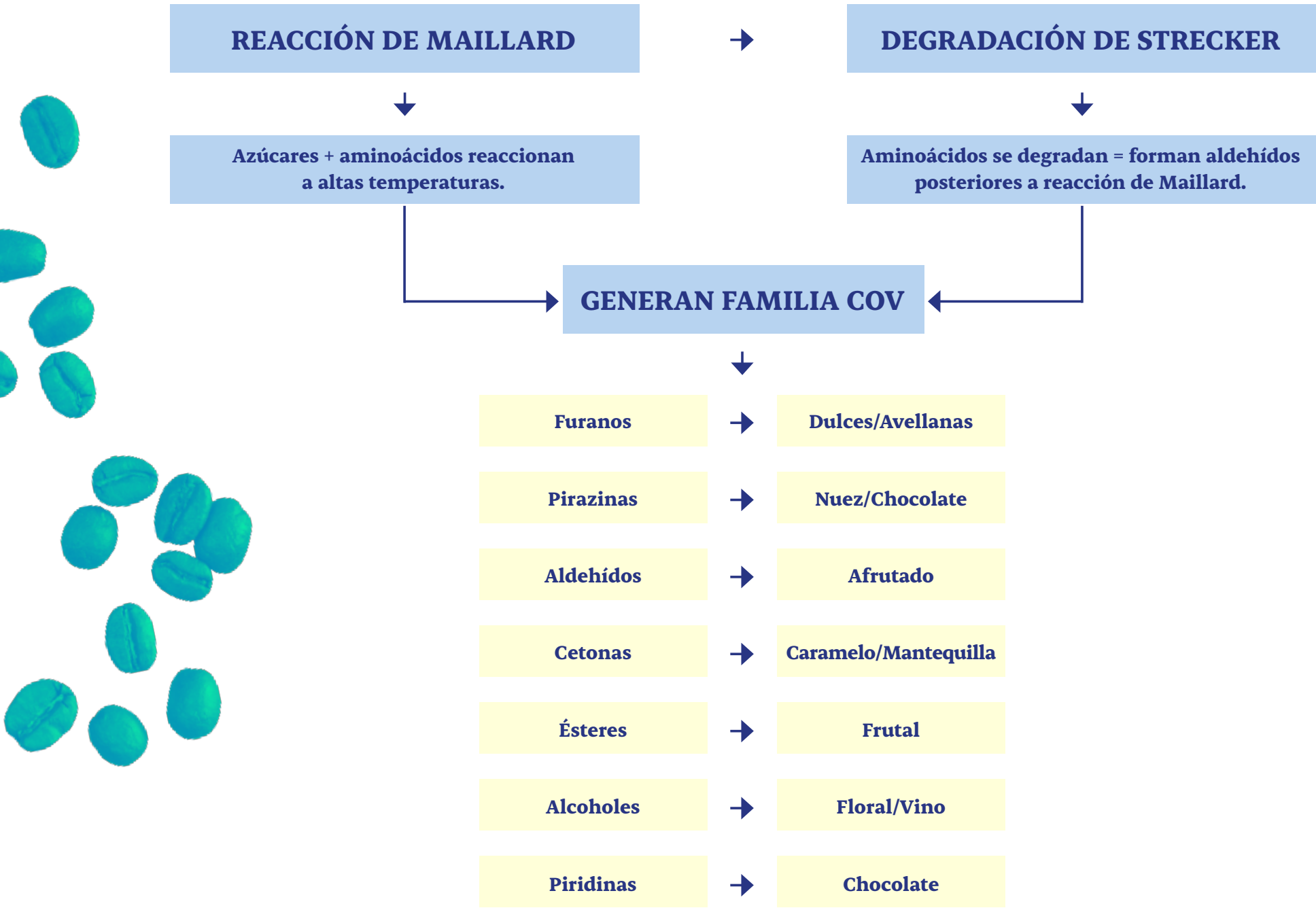


Figura 1. Formación de compuestos orgánicos volátiles del café
Fuente: elaboración propia.

5. Fragancia vs. aroma del café

Según Cao et al. (2023), la fragancia hace referencia al olor característico que se percibe en el café molido antes de la adición de agua caliente, momento en el cual los compuestos volátiles comienzan a liberarse. Por su parte, el aroma corresponde a las sensaciones olfativas que se generan una vez se vierte el agua sobre el café molido, etapa en la que dichos cov se liberan con mayor intensidad y complejidad.

6. De lo tradicional a las tecnologías emergentes

El café presenta una elevada complejidad sensorial debido a la combinación de múltiples notas tanto en el aroma como en el sabor, lo que dificulta su identificación precisa. Esta dificultad se incrementa cuando los panelistas no poseen un entrenamiento adecuado o incluso cuando,

a pesar de su formación, pueden presentarse sesgos y desviaciones asociados a influencias psicológicas o fisiológicas que afectan a la hora de tomar decisiones durante la cata (Lu et al., 2022).

La nariz electrónica fue diseñada para emular los sentidos del olfato. Estos dispositivos están conformados por conjuntos de sensores de gas que, junto con sistemas de procesamiento computacional, permiten identificar y diferenciar los cov responsables del aroma. A diferencia de las personas, cuya percepción puede variar por factores como el cansancio, la experiencia, el estado de salud o incluso el entorno, estas tecnologías ofrecen resultados más estables y repetibles. Por esta razón, se consideran una alternativa prometedora para complementar los métodos tradicionales de evaluación sensorial. Algunos de estos sensores de gas o detectores de cov más utilizados se observan en la figura 2.

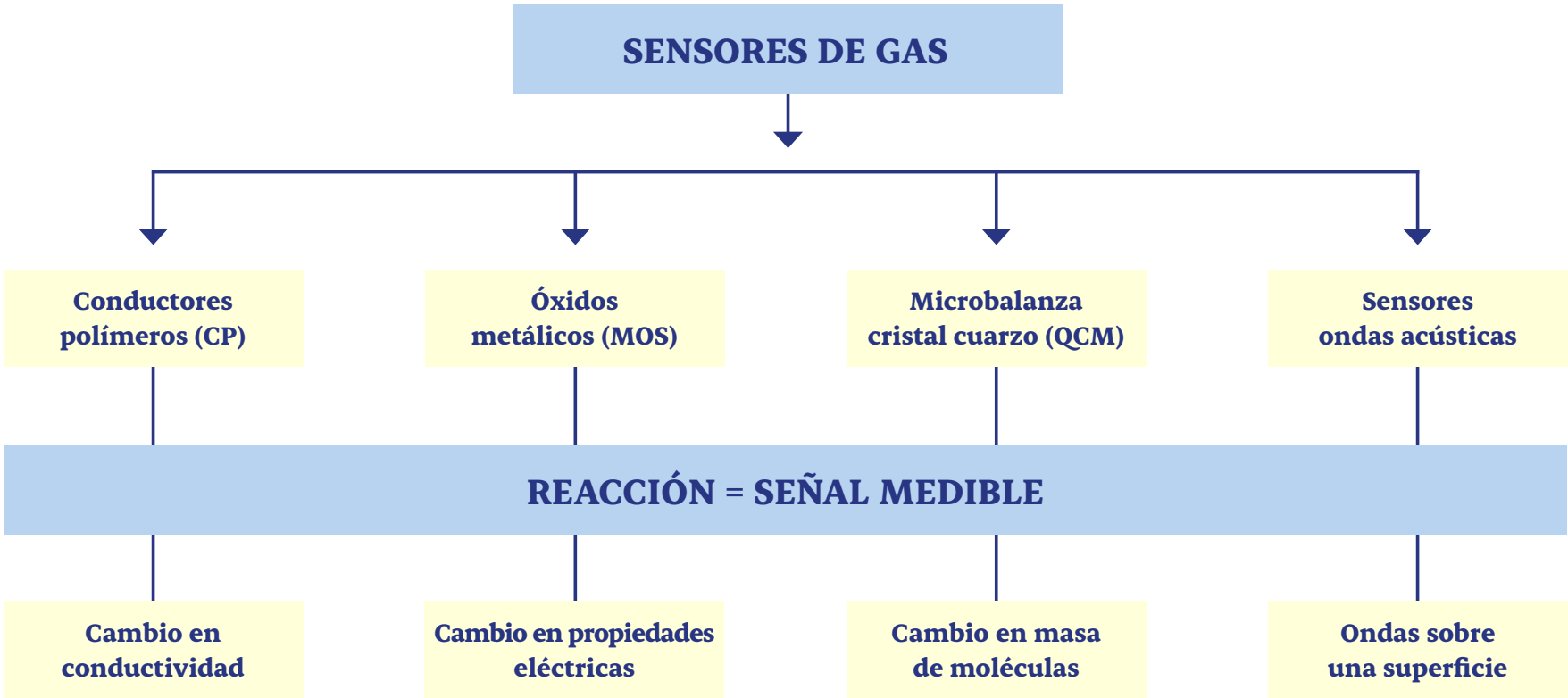
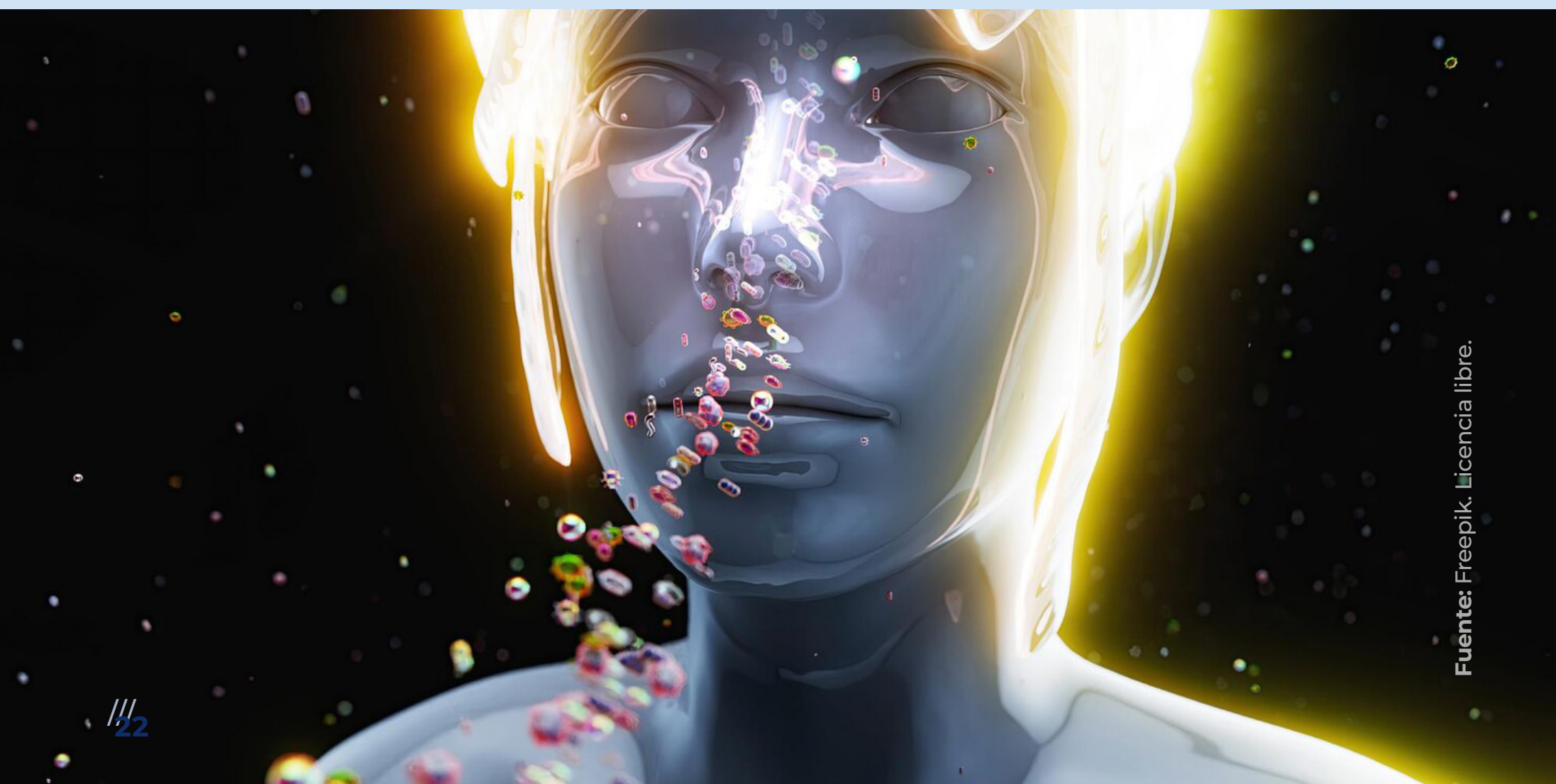


Figura 2. Sensores de gas transforman señales
Fuente: elaboración propia.

Las señales o reacciones detectadas por los sensores de gas se convierten en datos que, mediante sistemas de cómputo, permiten el reconocimiento de patrones y facilitan su asociación con los aromas. Su precisión está determinada por su sensibilidad, el procesamiento de los datos y la capacidad de los algoritmos para distinguir diferentes perfiles de olor (Chetna et al., 2025). Estas tecnologías, respaldadas por modelos de aprendizaje automático, facilitan la distinción entre cafés fermentados y naturales, así como la identificación de perfiles sensoriales, el origen geográfico y el nivel de tueste; sin embargo, su costo y limitada portabilidad siguen siendo una restricción notable.

La eficacia de las tecnologías basadas en la nariz electrónica ha sido demostrada por diversos estudios. Por ejemplo, Astuti et al. (2024) aplicaron aprendizaje profundo junto con una nariz electrónica para clasificar los aromas del café según el nivel de tueste. Los sensores mostraron una adecuada precisión

en la detección de compuestos volátiles, con desviaciones estándar inferiores al 20 % y, en algunos casos, menores al 10 %. El modelo logró clasificar los perfiles aromáticos con altos niveles de precisión; se alcanzaron valores de 98.2 % en tuestes claros, 98.4 % en ligeros a medios, 98.8 % en medios, 97.8 % en medios a oscuros y 95.9 % en oscuros. Esto evidencia su potencial para realizar un control preciso del nivel de tuestado, complementando técnicas como la cromatografía de gases y los paneles sensoriales, que suelen ser más costosos y presentar mayor variabilidad. Por otra parte, Brudzewski et al. (2012) evaluaron una nariz electrónica diferencial, es decir, un sistema capaz de comparar muestras frente a un patrón de referencia, diseñada para identificar irregularidades en café tostado en grano; se obtuvo una precisión del 99.79 %. Este sistema no solamente permitió detectar adulteraciones, sino también estimar la proporción de granos distintos al de referencia, lo que resalta su utilidad en el control de calidad del producto.



Así las cosas, resulta importante continuar la exploración del uso de las nuevas tecnologías emergentes como complemento del análisis sensorial humano, especialmente en la toma de decisiones durante la cata del café. En particular, el uso de dispositivos como la nariz electrónica, junto con herramientas de inteligencia artificial, ayuda a evaluar la calidad del grano de manera objetiva y precisa. Para esto, es necesario entrenar el sistema de modo que pueda aprender a identificar y reconocer distintos perfiles sensoriales. Esto reduce la subjetividad del análisis humano y representa una oportunidad para las empresas, ya que facilita el control de la calidad en tiempo real, agiliza los procesos, contribuye a mantener estándares más uniformes en el producto final y disminuye la dependencia de paneles sensoriales humanos, cuyos procesos suelen ser más costosos y demorados.

Referencias

1. Alcántara, G. M. R. N., Martins, L. C., Gomes, W. P. C., Dresch, D., Rocha, F. R. P., and Melchert, W. R. (2025). Effect of Roasting on Chemical Composition of Coffee. *Food Chemistry*, 477, 143169. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143169>
2. Astuti, S. D., Wicaksono, I. R., Soelistiono, S., Permatasari, P. A. D., Yaqubi, A. K., Susilo, Y., Putra, C. D., and Syahrom, A. (2024). Electronic Nose Coupled with Artificial Neural Network for Classifying of Coffee Roasting Profile. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 43, 100632. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2024.100632>
3. Brudzewski, K., Osowski, S., and Dwulit, A. (2012). Recognition of Coffee Using Differential Electronic Nose. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 61(6), 1803-1810. <https://doi.org/10.1109/TIM.2012.2184011>
4. Cao, X., Wu, H., Viejo, C. G., Dunshea, F. R., and Suleria, H. A. R. (2023). Effects of Postharvest Processing on Aroma Formation in Roasted Coffee: A Review. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1007-1027. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16261>
5. Chetna, Suresh, K., Kumari, S., Singh, S. K., Mandal, R. K., and Singh, A. (2025). Electronic Nose (E-Nose): Principle and Advances for Seed Quality Assessment. *Food Control*, 175, 111291. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111291>
6. Lu, L., Hu, Z., Hu, X., Li, D., and Tian, S. (2022). Electronic Tongue and Electronic Nose for Food Quality and Safety. *Food Research International*, 162, 112214. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112214>
7. Sánchez-Riaño, A. M., Vega-Oliveros, C., Ladino-Garzón, W. L., Orozco-Blanco, D. A., Bahamón-Monje, A. F., Gutiérrez-Guzmán, N., and Amorcho-Cruz, C. M. (2024). Effects of Cherries Sanitization Methods and Fermentation Times on Quality Parameters of Coffee Beans. *Heliyon*, 10(13), e33508. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33508>
8. Shaikh, F., and Shaikh, I. N. (2023). A Critical Evaluation of the Difference between Organic and Inorganic Compounds. *International Education and Research Journal (IERJ)*, 9(5). <https://ierj.in/journal/index.php/ierj/article/view/2705>
9. Worku, M., Astatkie, T., and Boeckx, P. (2022). Effect of Growing Conditions and Postharvest Processing on Arabica Coffee Bean Physical Quality Features and Defects. *Heliyon*, 8(4), e09201. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09201>
10. Yadav, S., Singh, A., and Kumar, N. (2025). Electronic Panel for Sensory Assessment of Food: A Review on Technologies Integration and their Benefits. *Journal of Food Science*, 90(3). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70128>



A close-up profile of a woman's face, looking towards the right. Overlaid on her face is a complex digital wireframe or mesh structure, composed of numerous small blue dots connected by thin white lines, resembling a facial recognition or scanning overlay. The background is a soft, out-of-focus landscape with warm, golden light.

NARIZ ELECTRÓNICA:

detección del cáncer a través del aroma*

Laura Manuela García García¹

Marcela Vallejo Valencia²

Cristhian Manuel Durán Acevedo³

Edilson Delgado Trejos⁴

¹Estudiante de Maestría en Metrología, Departamento de Ciencias Aplicadas, Institución Universitaria ITM.

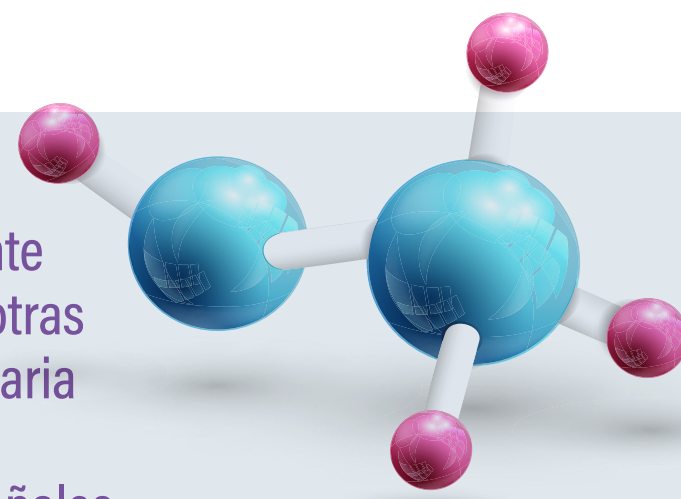
²Docente de tiempo completo, Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, Institución Universitaria ITM.

³Profesor titular, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

⁴Profesor Titular 1, Departamento de Calidad y Producción, Institución Universitaria ITM, edilsondelgado@itm.edu.co

*Este artículo se presenta como producto de divulgación del proyecto de investigación financiado por MinCienas con código 1121-890-82391 y número de contrato RC 0803-2022.

Respirar es un acto cotidiano, pero también una fuente de información sobre lo que ocurre dentro del organismo. Mediante el análisis de compuestos químicos presentes en el aliento y otras muestras biológicas, investigadores de la Institución Universitaria ITM y la Universidad de Pamplona exploran el potencial de las narices electrónicas y la inteligencia artificial para detectar señales asociadas al cáncer de forma temprana y no invasiva.



Introducción

Cada vez que respiramos, liberamos un código secreto sobre nuestra salud. Aunque para las personas el aliento puede ser imperceptible en muchas ocasiones, en realidad transporta pequeñas moléculas que reflejan lo que está ocurriendo en el interior del cuerpo. En otras palabras, el organismo «habla» todo el tiempo, solo que no lo hace con palabras, sino a través de partículas que viajan en el aire.

Durante muchos años, la detección de enfermedades ha dependido de métodos como análisis de sangre, estudios de imagen o incluso de la capacidad de algunos animales para identificar olores específicos. Sin embargo, muchos de estos procedimientos pueden ser invasivos, costosos o incómodos para los pacientes, por lo que en muchas ocasiones se retrasa la detección temprana de enfermedades graves como el cáncer. Esta realidad ha despertado un interés particular en el campo de la ciencia por buscar alternativas que

sean más accesibles, confiables y no invasivas. En este contexto, surge una idea que, a primera vista, parece sacada de la ciencia ficción: utilizar dispositivos electrónicos capaces de «oler» enfermedades. Estas herramientas, conocidas como narices electrónicas, están diseñadas para captar y analizar componentes químicos presentes en el aliento, la orina u otros fluidos corporales, transformándolos en información útil para la identificación de cáncer.

Más que reemplazar los métodos tradicionales, esta tecnología busca complementarlos, ofreciendo una forma de análisis no invasiva que podría facilitar la identificación temprana y mejorar la calidad de vida de los pacientes. A lo largo de este artículo se explicará, de manera sencilla, cómo funcionan estas herramientas, qué tipo de información analizan y por qué representan una de las propuestas más prometedoras de la medicina moderna.

El olor y el aroma: dos términos que no son lo mismo

En el lenguaje cotidiano es común utilizar las palabras *olor* y *aroma* como si fueran sinónimos. Sin embargo, desde una perspectiva científica, existe una diferencia relevante entre ambos conceptos. El aroma corresponde a las sustancias químicas que se encuentran en el aire, mientras que el olor es la interpretación que hace el cerebro humano de esas sustancias.

Esta diferencia, aunque muchas veces parezca sutil, es fundamental para entender el funcionamiento de las narices electrónicas. Mientras que los seres humanos perciben olores de manera subjetiva (lo que para una persona puede ser agradable para otra puede no serlo), los dispositivos electrónicos trabajan directamente con el aroma, es decir, con la información relacionada con las concentraciones químicas.

Las narices electrónicas son dispositivos que emulan el olfato humano utilizando sensores especializados que reaccionan ante diferentes compuestos volátiles [1]. Cada sustancia que se les suministra (orina, saliva, sudor, heces, aliento, etc.) genera una respuesta particular en estos sensores, lo que permite construir un patrón o «firma» que pueda ser analizado posteriormente. De esta manera, se elimina la subjetividad del olfato humano y se obtiene un sistema de medición más preciso y reproducible.

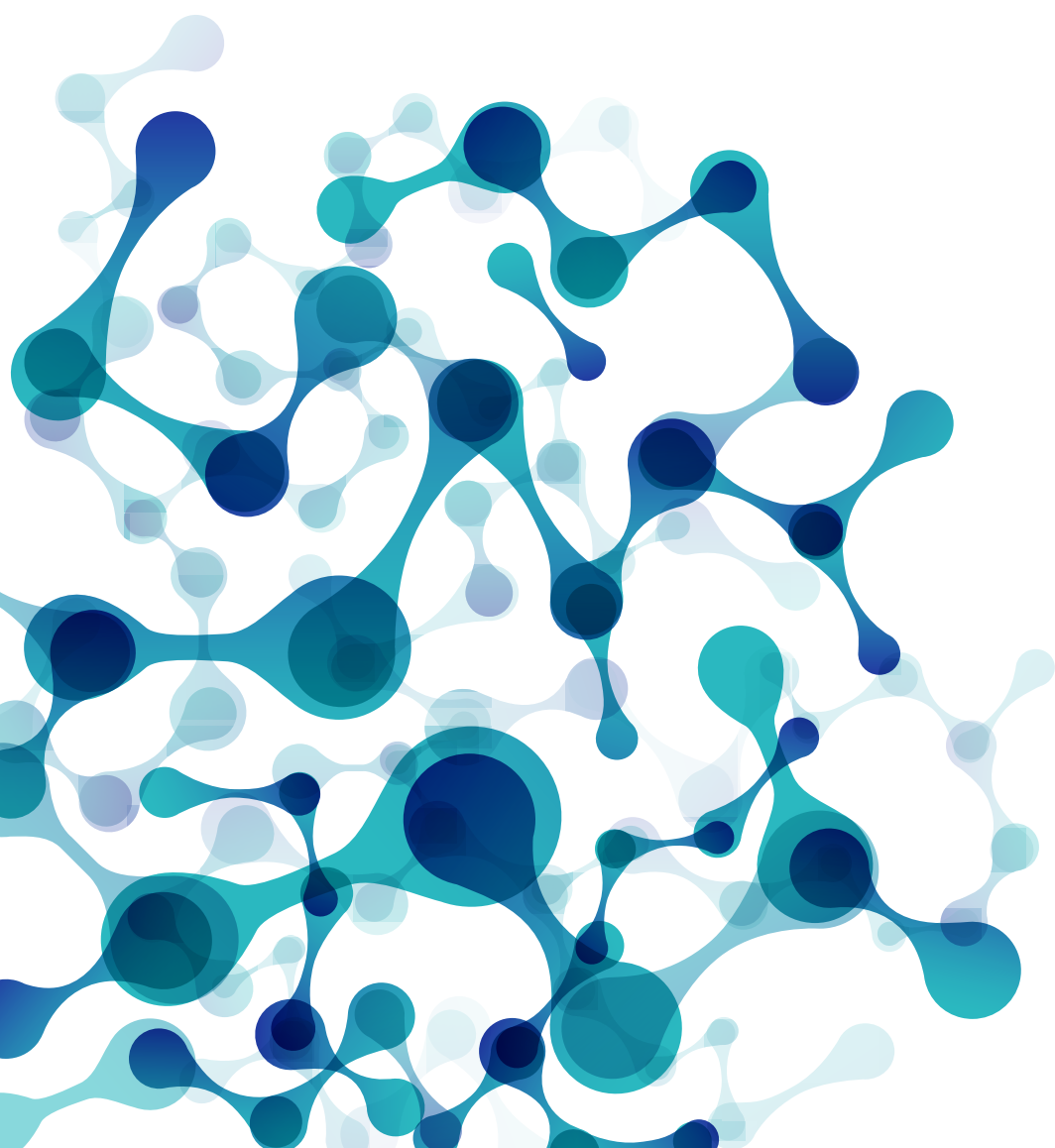
Gracias a esta capacidad, estos dispositivos han demostrado ser útiles en la identificación de patrones asociados a enfermedades. Por ejemplo, en estudios relacionados con el cáncer de próstata, se ha logrado diferenciar con un 100 % de precisión entre muestras de pacientes que padecen la enfermedad y controles mediante el análisis de orina y aliento [2].

El lenguaje secreto del cuerpo: cuando las partículas hablan

El cuerpo humano es un sistema extraordinariamente complejo en constante actividad. Aun cuando una persona esté en reposo, su organismo continúa realizando múltiples procesos metabólicos que generan diferentes sustancias químicas. Algunas de estas son liberadas al exterior en forma de gases, conocidas como compuestos orgánicos volátiles (COV).

Los COV se generan como productos de las actividades biológicas dentro del cuerpo y pueden liberarse de la saliva, la orina, el aliento o las heces [3]. Su compromiso puede variar dependiendo del estado de salud de una persona. En este sentido, pueden considerarse una especie de «huella química» que contiene información sobre lo que está ocurriendo en el interior del cuerpo [4].

Cuando una persona está sana, esa huella química sigue un patrón relativamente estable.



Sin embargo, la aparición de enfermedades, especialmente aquellas relacionadas con alteraciones celulares como el cáncer, puede modificar significativamente este patrón. Estos cambios pueden ser muy sutiles, pero son suficientes para ser detectados por sensores especializados.

Este fenómeno abre la posibilidad de utilizar los COV como biomarcadores, es decir, como indicadores que permiten identificar la presencia de una enfermedad. A diferencia de otros métodos diagnósticos, que requieren procedimientos invasivos o complejos, el análisis de COV puede realizarse de manera más sencilla y rápida.

La figura 1 muestra, paso a paso, el funcionamiento de una nariz electrónica para ayudar a identificar enfermedades como el cáncer: el cuerpo humano libera sustancias llamadas compuestos orgánicos volátiles (COV), que cambian según el estado de salud de la persona; estas sustancias se recogen mediante muestras como el aliento exhalado, la orina o la saliva; la muestra se analiza con unos sensores especiales que «huelen» estos compuestos y los convierten en señales eléctricas, finalmente, un computador, apoyado en inteligencia artificial, analiza esas señales y busca patrones que permitan identificar si una persona tiene cáncer.

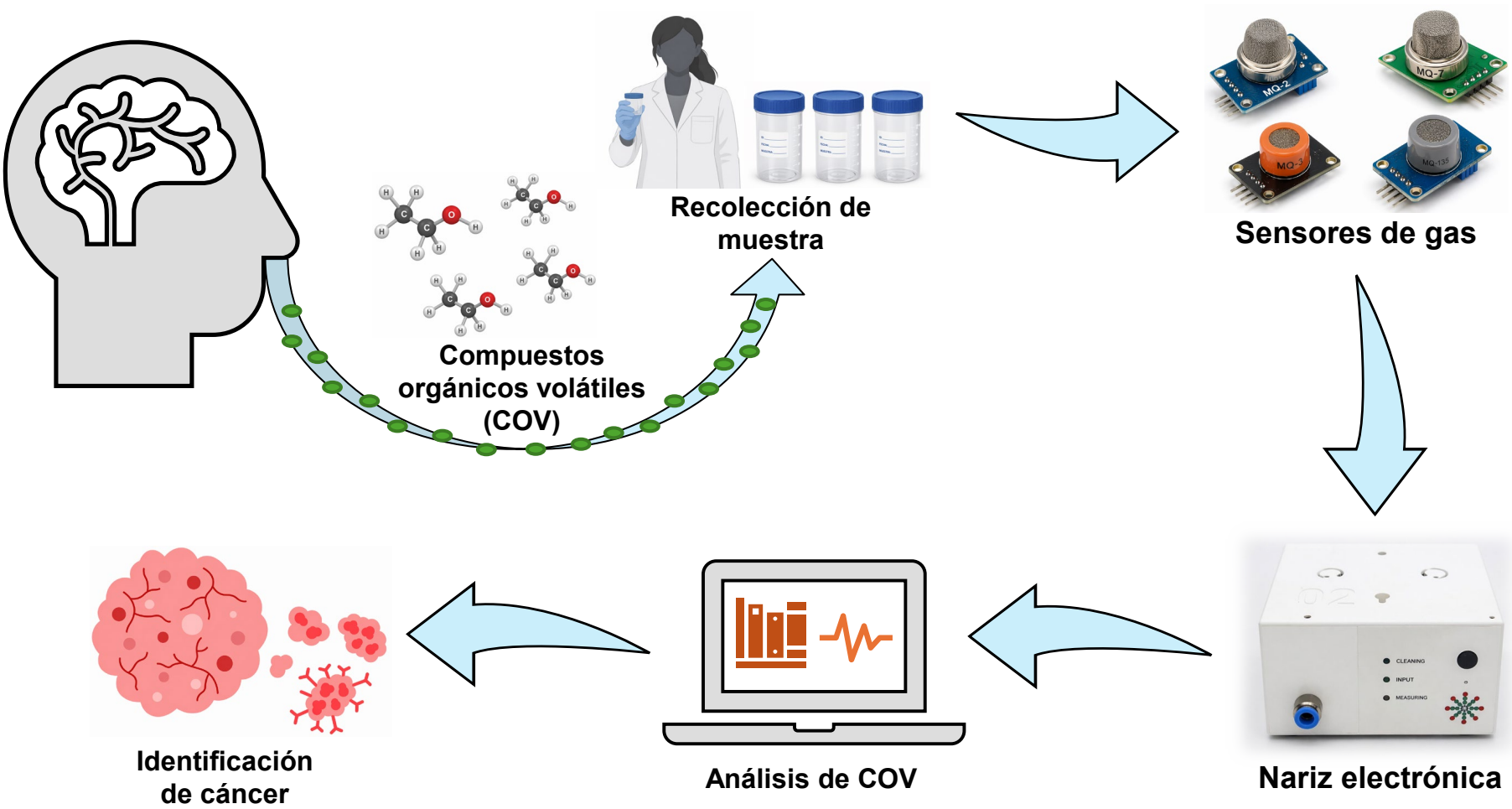


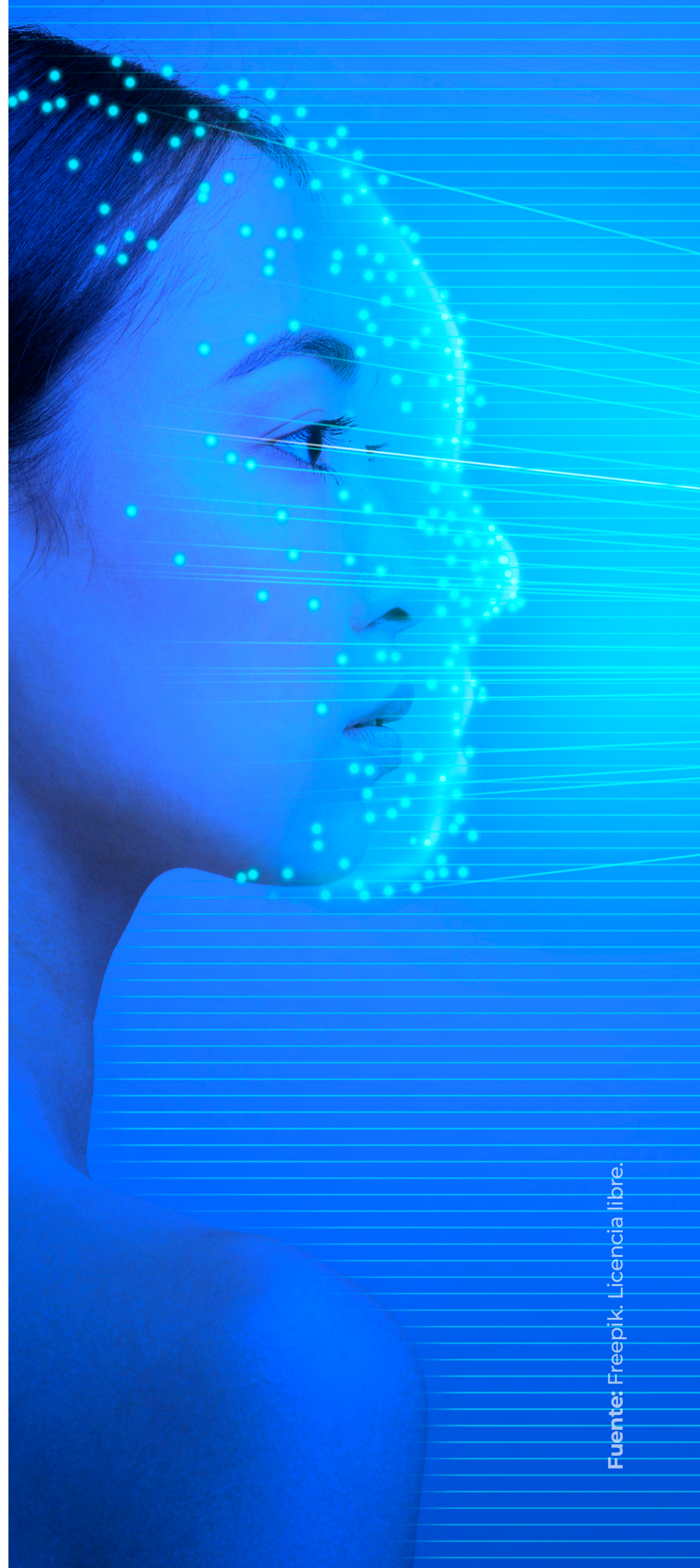
Figura 1. Proceso de detección de enfermedades mediante narices electrónicas a partir de compuestos orgánicos volátiles (COV)
Fuente: elaboración propia.

De los datos a la comprensión clínica: el papel de la inteligencia artificial

Detectar los COV es solo el primer paso en el proceso. Una vez que los sensores han capturado la información química, se genera una gran cantidad de datos que, por sí solos, no son fáciles de interpretar. Es en este punto donde la inteligencia artificial (IA) juega un papel fundamental.

Los algoritmos de aprendizaje automático permiten analizar estos datos y encontrar patrones que no serían evidentes para el ojo humano. Con entrenamiento, el sistema aprende a diferenciar entre perfiles químicos asociados a personas con cáncer y a sujetos que no lo padecen.

En términos sencillos, la IA puede entenderse como un sistema de reconocimiento de patrones. A partir de múltiples ejemplos de datos previamente clasificados, los modelos se entrenan para identificar características clave que les ayudan a efectuar nuevas clasificaciones de manera automática. Esta capacidad resulta muy útil en el contexto del cáncer, en el que la detección temprana es crucial. En muchos casos, los cambios en los COV pueden presentarse antes de la aparición de síntomas clínicos o de que otros métodos diagnósticos los detecten. Las narices electrónicas combinadas con IA, particularmente mediante técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, pueden mejorar la precisión diagnóstica y la robustez del sistema [5], lo que contribuye en la toma de decisiones clínicas por parte de los profesionales de la salud. Estos sistemas tienen la ventaja de mejorar con el tiempo; a medida que se incorporan más datos, los modelos pueden volverse más precisos y adaptarse a diferentes tipos de pacientes y condiciones clínicas.



Más allá del uso de perros detectores: una alternativa segura y ética

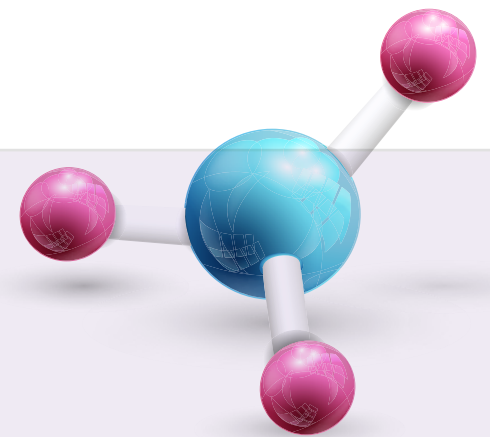
El uso del olfato para identificar enfermedades no es nuevo. En los últimos años, diversos estudios han demostrado que algunos animales, especialmente los perros, son capaces de identificar ciertos tipos de cáncer al oler muestras biológicas [6]. Esto se debe a su gran capacidad olfativa, dado que poseen millones más de receptores olfativos que el ser humano.

Si bien la capacidad olfativa de los caninos es innegable, el uso de animales presenta varias limitaciones. Por una parte, el entrenamiento de los perros requiere tiempo, recursos y condiciones específicas y, por otra parte, la precisión en la identificación de una enfermedad puede variar

dependiendo de factores como el cansancio, el entorno o incluso el estado emocional del animal.

Además, por lo general existe una notable preocupación relacionada con el bienestar de los animales, pues al ser utilizados de forma repetida para analizar muestras como orina o aliento, podrían entrar en contacto con bacterias o virus que representan un riesgo para su salud.

Las narices electrónicas se presentan como una alternativa más segura y fácil de usar. A diferencia de los perros entrenados, estos dispositivos no se cansan, no se distraen y siempre funcionan de la misma manera. Asimismo, no necesitan tocar las muestras, puesto que analizan los olores que estas liberan en el aire, lo que permite una evaluación no invasiva [7]. Esto reduce el riesgo de exposición a bacterias o virus, lo que protege tanto a las personas como a los animales.



El cuerpo «habla» a través de compuestos orgánicos volátiles que pueden revelar cambios asociados a enfermedades como el cáncer

El fin de las pruebas dolorosas: hacia una medicina más amable

Uno de los aspectos más relevantes de las narices electrónicas es su potencial para transformar la experiencia del paciente. En la actualidad, muchos procedimientos diagnósticos pueden resultar invasivos, incómodos o incluso dolorosos (como la colonoscopia), lo que genera ansiedad y, en algunos casos, rechazo.

Esto representa una problemática muy seria porque el miedo o la incomodidad pueden llevar a que los pacientes retrasen o eviten exámenes médicos, lo cual disminuye las probabilidades de detectar enfermedades en etapas tempranas.

La posibilidad de diagnósticos a partir del aliento exhalado o la orina representa un cambio notable en este panorama. Estos métodos son más accesibles, lo que facilita su aceptación por parte de los pacientes. Además, su naturaleza no invasiva y su portabilidad los hace especialmente atractivos para uso en entornos clínicos [8].

En poblaciones vulnerables, como adultos mayores o niños, este tipo de tecnología podría tener un impacto todavía mayor. Al reducir el malestar físico y emocional asociado a los exámenes médicos, se promueve una mayor participación en programas de prevención y seguimiento. Por lo tanto, las narices electrónicas no solo representan un avance tecnológico, sino también un paso hacia una medicina más centrada en el bienestar del paciente.

Ventajas y desafíos

A pesar de su gran potencial, las narices electrónicas enfrentan desafíos importantes. Uno de los principales es la necesidad de estandarizar los procedimientos de recolección y análisis de muestras, ya que factores externos pueden influir en los resultados.

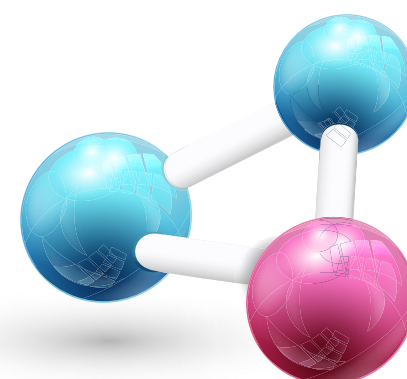
Adicionalmente, los modelos de inteligencia artificial requieren ser validados en diferentes contextos clínicos para garantizar su confiabilidad. Esto implica adelantar estudios con poblaciones más amplias y diversas, lo que requiere tiempo y recursos.

No obstante, las ventajas de esta tecnología son evidentes. Su carácter no invasivo, su rapidez y su potencial para detectar enfermedades en etapas tempranas la convierten en una herramienta muy prometedora para el futuro de la medicina.

Logros obtenidos por el ITM y la Universidad de Pamplona

Para entender qué tan bien funcionan las narices electrónicas en la detección de enfermedades como el cáncer, en el Laboratorio AMYSOD del ITM se han analizado datos provistos por la Universidad de Pamplona que contienen, de manera etiquetada, colecciones de curvas extraídas mediante dos narices electrónicas ante diferentes tipos de muestras biológicas que incluyen orina, aliento, sudor y saliva. A partir de la información capturada por los sensores, se aplicaron modelos de IA con el fin de estratificar a los pacientes como sanos o enfermos.

Para evaluar el desempeño de estos modelos, se utilizaron tres indicadores principales respecto a su desviación estándar (sd): la exactitud (Acc), que muestra qué tan bien clasifica el sistema en general; la sensibilidad (Se), que indica su capacidad para detectar correctamente a los pacientes con la enfermedad; y la especificidad (Sp), que refleja qué tan bien reconoce a las personas sanas.



Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 1, donde se compara el desempeño de dos modelos ampliamente utilizados: k-vecinos más cercanos (k-NN) y Random Forest (RF).

En términos generales, las muestras de orina evidencian los mejores resultados de clasificación. En particular, la primera nariz electrónica combinado con el modelo k-NN (k=5) alcanzó una exactitud superior al 92 %, acompañada de valores igualmente altos de sensibilidad y especificidad.

Esto indica que el modelo no solamente logra identificar correctamente a la mayoría de los pacientes con la enfermedad, sino que también presenta una alta capacidad para reconocer a los individuos sanos. De manera similar, el modelo RF aplicado a esta misma muestra presentó un desempeño muy competitivo, incluso con una ligera mejora en la especificidad, lo que sugiere una mayor precisión al momento de evitar falsos positivos.

Muestra	Dispositivo	Modelo	Acc ± sd	Se ± sd	Sp ± sd
Orina	Nariz electrónica 1	k-NN (k=5)	0,9214 ± 0,1025	0,9258 ± 0,1364	0,9175 ± 0,1525
		RF	0,9286 ± 0,0981	0,9067 ± 0,1569	0,9450 ± 0,1308
	Nariz electrónica 2	k-NN (k=3)	0,8631 ± 0,1270	0,8492 ± 0,1747	0,8775 ± 0,1991
		RF	0,8864 ± 0,1151	0,8683 ± 0,1630	0,9075 ± 0,1641
Aliento	Nariz electrónica 1	k-NN (k=5)	0,6667 ± 0,1269	0,4747 ± 0,2208	0,8162 ± 0,1593
		RF	0,6935 ± 0,1310	0,5907 ± 0,2127	0,7731 ± 0,1688
	Nariz electrónica 2	k-NN (k=5)	0,6401 ± 0,1192	0,5777 ± 0,1931	0,6871 ± 0,1494
		RF	0,6849 ± 0,1357	0,5437 ± 0,2234	0,7943 ± 0,1530
Sudor de axila	Nariz electrónica 1	k-NN (k=3)	0,6433 ± 0,1967	0,6667 ± 0,2625	0,6225 ± 0,2737
		RF	0,6819 ± 0,1791	0,7033 ± 0,2490	0,6650 ± 0,2601
Sudor de espalda	Nariz electrónica 2	k-NN (k=5)	0,5764 ± 0,1704	0,4208 ± 0,2734	0,7300 ± 0,2363
		RF	0,5948 ± 0,2104	0,5775 ± 0,2907	0,6108 ± 0,2756
Saliva	Nariz electrónica 1	k-NN (k=3)	0,5481 ± 0,1952	0,5625 ± 0,2829	0,5392 ± 0,2812
		RF	0,5626 ± 0,1882	0,4950 ± 0,2768	0,6267 ± 0,2510

Tabla 1. Comparación del desempeño de k-NN y RF en diferentes muestras biológicas analizadas con narices electrónicas

Fuente: elaboración propia.

En el caso de las muestras de aliento, los resultados fueron moderados en comparación con la orina. Aunque los modelos lograron capturar información relevante, las métricas de desempeño fueron más bajas, con valores de exactitud que se ubicaron aproximadamente entre el 64 % y el 69 %. El modelo RF mostró un comportamiento más equilibrado entre sensibilidad y especificidad, lo que sugiere una mayor estabilidad frente a la variabilidad de este tipo de muestra.

Por su parte, las muestras de sudor, tanto de axila como de espalda, presentaron una mayor dispersión en los resultados, pues se situaron en rangos intermedios, lo que indica que, si bien estas muestras contienen información útil, su capacidad para diferenciar entre sanos y enfermos es más limitada. Aun así, se observa nuevamente que el modelo RF tiende a ofrecer resultados más consistentes, especialmente en términos de sensibilidad, algo relevante cuando es prioritario no pasar por alto posibles casos positivos.

Finalmente, las muestras de saliva registraron los valores más bajos de desempeño entre las analizadas. Las métricas obtenidas muestran una menor capacidad de discriminación, lo que podría estar asociado a una menor concentración o variabilidad de los compuestos químicos presentes en este tipo de muestra. Esto sugiere que, al menos en las condiciones evaluadas, la saliva no es la opción más favorable para este tipo de análisis.

Para concluir, estos resultados identifican dos aspectos clave. Por un lado, el tipo de muestra biológica influye de manera significativa en el desempeño de los modelos, y la orina es la que ofrece las condiciones más favorables para la identificación de patrones asociados a la enfermedad. Por otro lado, aunque ambos modelos presentan un buen desempeño, RF tiende a mostrar una mayor estabilidad en diferentes escenarios, mientras que k-NN puede alcanzar resultados muy competitivos cuando se ajusta adecuadamente el número de vecinos. Estos hallazgos refuerzan

el potencial de las narices electrónicas como herramientas de apoyo en la toma de decisiones médicas, especialmente cuando se combinan con técnicas adecuadas de análisis de datos.

Consideraciones finales

El desarrollo de las narices electrónicas representa mucho más que un avance tecnológico, dado que es una nueva forma de entender cómo el cuerpo comunica su estado a través del aroma de sus propias sustancias. Al permitir el análisis de reacciones químicas de manera rápida, sencilla y sin procedimientos invasivos, esta tecnología abre la posibilidad de detectar enfermedades de una forma más amable y con mayor confort para las personas.

Uno de los aspectos más importantes de este avance es su potencial para reducir las barreras de acceso al diagnóstico. En muchos lugares del mundo, especialmente en regiones no interconectadas y vulnerables por sus altas limitaciones socioeconómicas, contar con pruebas médicas especializadas puede ser demorado, costoso o casi imposible. En este sentido, las narices electrónicas podrían convertirse en herramientas más disponibles, capaces de apoyar la evaluación clínica en contextos donde hoy no es posible tener equipos complejos o infraestructura avanzada. Además, la integración con la IA permite que toda la información recolectada no solo se almacene, sino que se transforme en conocimiento útil. Gracias a esto, es posible mejorar la toma de decisiones médicas, apoyar a los profesionales de la salud y avanzar hacia diagnósticos más tempranos y precisos. Sin embargo, como toda tecnología en desarrollo, aún existen retos importantes. Es necesario seguir investigando sobre su validación en diferentes poblaciones y asegurar que los resultados sean confiables en distintos contextos. La confianza en estos sistemas será fundamental para que puedan integrarse de manera efectiva en la práctica clínica.

A pesar de estos desafíos, el potencial de las narices electrónicas es enorme. Más allá de los aspectos técnicos, su mayor valor está en la posibilidad de transformar la experiencia del paciente, reduciendo el miedo, el dolor y la incomodidad asociados a muchos exámenes actuales. Esto no solamente mejora la calidad de vida, sino que también fomenta una mayor cultura de prevención.

En definitiva, la idea de que el cuerpo «habla» a través de su propia química deja de ser una metáfora para convertirse en una herramienta real de diagnóstico. La posibilidad de detectar enfermedades a partir de algo tan cotidiano como la respiración no solo redefine la medicina, sino que acerca el cuidado de la salud a algo más simple, cómodo y accesible. En un futuro cercano, cuidar la salud podría ser tan natural como respirar. En este escenario, interpretar a tiempo el «código secreto» del cuerpo no será solo una opción, sino la herramienta definitiva para salvar vidas.

Referencias

- [1.] W. Ramírez, V. Pillajo, E. Ramírez, I. Manzano, and D. Meza, “Exploring Components, Sensors, and Techniques for Cancer Detection via eNose Technology: A Systematic Review,” *Sensors*, vol. 24, no. 23, p. 7868, Dec. 2024, doi: 10.3390/s24237868.
- [2.] C. M. Durán Acevedo, J. K. Carrillo Gómez, C. A. Cuastumal Vasquez, and J. Ramos, “Prostate Cancer Detection in Colombian Patients through E-Senses Devices in Exhaled Breath and Urine Samples,” *Chemosensors*, vol. 12, no. 1, p. 11, Jan. 2024, doi: 10.3390/chemosensors12010011.
- [3.] R. P. Arasaradnam, J. A. Covington, C. Harmston, and C. U. Nwokolo, “Review article: next generation diagnostic modalities in gastroenterology – gas phase volatile compound biomarker detection,” *Aliment. Pharmacol. Ther.*, vol. 39, no. 8, pp. 780–789, Apr. 2014, doi: 10.1111/apt.12657.
- [4.] H. Tyagi, E. Daulton, A. S. Bannaga, R. P. Arasaradnam, and J. A. Covington, “Non-Invasive Detection and Staging of Colorectal Cancer Using a Portable Electronic Nose,” *Sensors*, vol. 21, no. 16, p. 5440, Aug. 2021, doi: 10.3390/s21165440.
- [5.] A. J. Moshayedi, A. S. Khan, M. Chen, and P. P. Piccaluga, “ENose: a new frontier for non-invasive cancer detection and monitoring,” *J. Cancer Metastasis Treat.*, Feb. 2025, doi: 10.20517/2394-4722.2024.85.
- [6.] F. Pirrone and M. Albertini, “Olfactory detection of cancer by trained sniffer dogs: A systematic review of the literature,” May 01, 2017, *Elsevier USA*. doi: 10.1016/j.jveb.2017.03.004.
- [7.] J. Rana and S. Desai, “Recent advances in e-nose for potential applications in Covid-19 infection,” *Talanta Open*, vol. 10, p. 100363, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.talo.2024.100363.
- [8.] N. Rodríguez Hernández *et al.*, “Nivel de conocimiento sobre exámenes diagnósticos para la detección precoz del cáncer colorrectal,” *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, vol. 23, no. 2, pp. 286–294, 2019, Accessed: Abr. 29, 2024. [Online]. Available: <https://revcmpinar.sld.cu/index.php/publicaciones/article/view/3859>



Prótesis de cadera:

proceso y recuperación de la movilidad

Juliana Vallejo Agudelo¹
Saray Rojas Giraldo¹
Tomás Morales García¹

¹Estudiante, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas,
Institución Universitaria ITM

La fabricación de una prótesis de cadera integra el **diseño digital**, **la manufactura**, **el moldeo** y **la fundición**. A través de esta práctica académica fue posible recorrer, paso a paso, las etapas necesarias para desarrollar este dispositivo capaz de **devolver movilidad** y **mejorar la calidad de vida** de los pacientes.



¿Por qué es relevante?

Más que una pieza mecánica, las prótesis de cadera permiten:



Recuperar
movilidad.



Reducir
dolor.



Volver a
caminar.

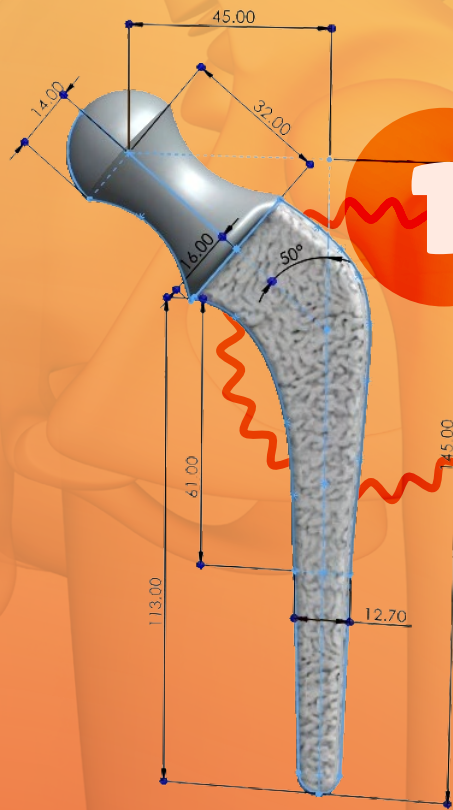


Ganar
independencia.



Mejorar su
bienestar físico
y mental.

Del diseño digital a la pieza final



Diseño digital

El proceso comenzó con el diseño de la prótesis en el *software* SolidWorks.

1. Se dibujaron figuras en dos dimensiones, como círculos y curvas suaves, que funcionan como un plano de la pieza.
2. Luego, mediante herramientas digitales, se les dio volumen y profundidad para convertirlas en un modelo sólido en 3D.

2 Precisión anatómica

Se buscó imitar el cuerpo humano, a partir de catálogos médicos reales.

El diseño reprodujo dos componentes principales:

- **Cabeza del fémur:** parte redondeada que permite el movimiento.
- **Vástago:** sección alargada que se une al hueso.

En esta etapa se definieron la forma general y las características necesarias para la fabricación de la prótesis.

Prototipado

Impresión en 3D

El modelo se imprimió en ácido poliláctico (PLA).

Se realizaron 3 impresiones para corregir errores y optimizar el diseño.

3



Creación del molde 4

Molde en silicona

1. El prototipo se introdujo en un recipiente.
2. Se cubrió completamente con silicona líquida.
3. Se dejó solidificar hasta obtener el molde flexible con la forma negativa de la pieza.

Ventajas del molde:

- Copia la forma de la pieza.
- Facilita el retiro de la pieza sin dañarla.
- Es reutilizable.



Molde en cera

A partir del molde de silicona se fabricó una prótesis de cadera en cera que representa la forma final que tendrá la pieza metálica.



5

Sinterización

Molde rígido

1. La pieza en cera se recubrió con yeso.
2. Se sometió a tratamiento térmico.

Resultados:

- Eliminación del agua residual.
- Disminución de la porosidad.
- Prevención de fracturas durante el vaciado del metal líquido.

6

Formación de la prótesis **7**

Fundición a la cera perdida

El material se calentó en hornos de crisol hasta alcanzar temperaturas entre **620 °C** y **660 °C** (Callister y Rethwisch, 2018).

Procedimiento:

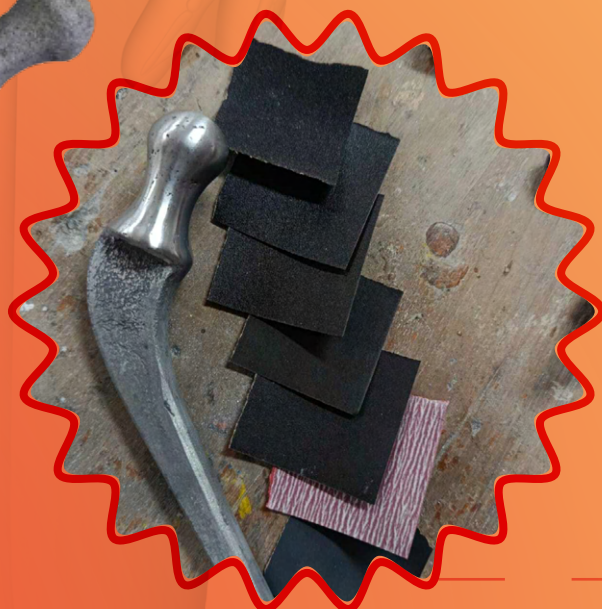
1. Se vertió el aluminio fundido dentro del molde.
2. La cera se derritió y salió del molde por la temperatura.
3. El aluminio ocupó ese espacio y tomó la forma de la prótesis.

¿Dónde se llevó a cabo?

En los laboratorios de la Institución Universitaria Pascual Bravo.



8



Etapas final

Lijado y ajuste

Las piezas obtenidas en aluminio se lijaron para:

- Mejorar los acabados.
- Ajustar medidas.



En síntesis

Las prótesis de cadera son una oportunidad para que muchos pacientes recuperen su movilidad, reduzcan el dolor y mejoren su bienestar, lo que demuestra la importancia de la ingeniería biomédica tanto en lo técnico como en lo humano.



Referencias

Callister, W. D., y Rethwisch, D. G. (2018). *Ciencia e ingeniería de materiales*. Editorial Reverté.

La revista *La Tekhné* se exime de cualquier responsabilidad respecto de la veracidad, exactitud o integridad de la declaración de contribuciones de autor (CRediT) consignada en este artículo. Dicha información fue suministrada por el autor de correspondencia, quien declara haber recopilado y consignado los roles de participación de los demás miembros del grupo, a quienes informó oportunamente y le manifestaron su conformidad con esta declaración.

Redacción del borrador inicial: Vallejo Agudelo, Rojas Giraldo y Morales García. **Redacción, revisión y edición:** Vallejo Agudelo, Rojas Giraldo, Morales García, Mejía Yepes, Montoya Torres, Cardona Benavides, Sepúlveda Sanmartín, Usma Gutiérrez y Olaya Mira. **Conceptualización:** Usma Gutiérrez y Olaya Mira. **Investigación:** Vallejo Agudelo, Rojas Giraldo, Morales García, Mejía Yepes, Montoya Torres, Cardona Benavides Y Sepúlveda Sanmartín. **Metodología:** Usma Gutiérrez y Olaya Mira. **Administración del proyecto, recursos, supervisión y validación:** Usma Gutiérrez y Olaya Mira. **Visualización:** Vallejo Agudelo, Rojas Giraldo, Morales García, Mejía Yepes, Montoya Torres, Cardona Benavides y Sepúlveda Sanmartín.

Innovación al alcance de la mano:

prótesis para amputaciones parciales de dedo

Sofía Valencia Avendaño¹
Óscar Andrés Salazar López¹
Sarita Aguado Escudero¹
David Fernando Freire Montoya¹

¹Estudiantes, Facultad de Ciencias Exactas y
Aplicadas, Institución Universitaria ITM.



Mediante medidas antropométricas, diseño asistido por *software* e impresión 3D, investigadores del Semillero BiReDi desarrollan prótesis parciales de dedo capaces de adaptarse a distintos tipos de amputación y a las características específicas de cada paciente, con el propósito de recuperar funcionalidad y mejorar su calidad de vida.



Las manos son un conjunto de estructuras anatómicas complejas cuya funcionalidad es fundamental para la interacción con el entorno a partir de la aprehensión, el tacto, la motricidad fina y hasta la comunicación no verbal, que hacen parte del desarrollo de las actividades de la vida diaria. Cuando falta alguna de las estructuras de la mano, dicha interacción se afecta ostensiblemente y es necesario adoptar soluciones para restablecer la función corporal y las actividades del paciente [1].

Esta falencia debe ser atendida con dispositivos como prótesis parciales o totales que reemplazan tanto la estética como la función biomecánica de la extremidad [2]. Su diseño y fabricación deben ser personalizados, desde la elaboración del molde para captar la anatomía del muñón y la identificación de las características individuales de los pacientes hasta la verificación del tipo de ampu-

tación y el nivel de actividad que determinan los requisitos específicos de la prótesis [3].

En particular, la dificultad en la personalización del diseño aumenta cuando hay ausencia parcial de los dedos, donde se deben considerar muchos movimientos articulares simultáneos y palancas digitales cortas, lo que se traduce —en lo referente al diseño— en fuerzas y presiones elevadas e intolerancia cutánea [4]. Especialmente, el pulgar es responsable de más del 40 % de la funcionalidad de la mano y permite movimientos de oposición para manipular objetos, ejecutar tareas finas y actividades de precisión, mientras que el índice es responsable de la digitación, señalización y demás [5]. La pérdida de estos dedos afecta notablemente la autonomía, lo que convierte a su reemplazo protésico en un reto técnico de alto impacto.

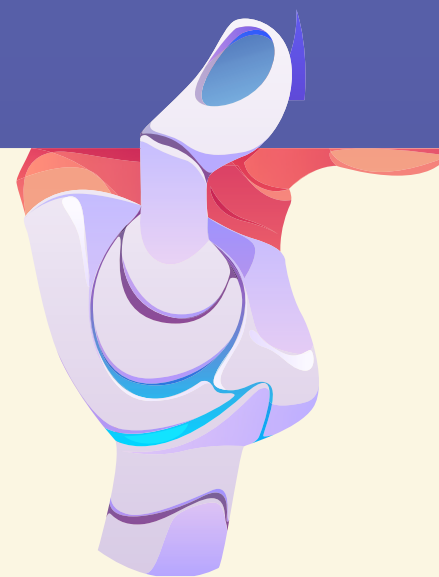
Aunque las prótesis de dedos presentan características propias como el tamaño, la anatomía y el grado de movimientos [6], su proceso de fabricación comparte las mismas etapas fundamentales que cualquiera otra, independientemente del nivel de amputación. Esto incluye la creación de moldes anatómicos, la digitalización mediante escaneo 3D, el diseño asistido por *software* y la fabricación mediante impresión 3D u otras técnicas [7].

En el Semillero de Investigación Biomecánica, Rehabilitación y Diseño (BiReDi) iniciamos un proyecto orientado al diseño y fabricación de prótesis para dos casos específicos: una persona con amputación del dedo índice y otra con amputación del pulgar. El propósito principal es desarrollar un proceso estandarizado de fabricación de prótesis para amputaciones de dedo, que pueda escalar mediante el uso de medidas antropométricas y adaptarse a cualquier tipo de amputación y a las características particulares de cada paciente.

En este sentido, para garantizar un ajuste adecuado de la prótesis a la anatomía del usuario, el escalado del dispositivo se realiza a partir de medidas antropométricas simples obtenidas del miembro contralateral sano. En primer lugar, se determina la longitud funcional del dedo o del segmento a reemplazar, medida desde la articulación metacarpofalángica hasta el extremo distal. Esta longitud sirve como referencia primaria para aplicar un factor de escala lineal al modelo tridimensional, preservando las proporciones geométricas originales del diseño.

Una vez definido el largo objetivo, se incorporan las dimensiones circunferenciales del usuario para asegurar la compatibilidad con los puntos de anclaje. Para esto, se registran los perímetros proximal y distal del segmento residual, correspondientes a las zonas de contacto donde la prótesis se apoya o se fija. Estas medidas permiten ajustar de forma independiente las secciones anulares o abrazaderas del modelo, modificando su diámetro interno mediante un escalado radial que no altera la cinemática del mecanismo (véase la figura 1).

«EL DISEÑO DE PRÓTESIS PARA AMPUTACIONES PARCIALES EXIGE PRECISIÓN ANATÓMICA, FUNCIONALIDAD BIOMECÁNICA Y ADAPTACIÓN PERSONALIZADA PARA CADA PACIENTE».



El procedimiento completo combina ambos criterios de ajuste:

1. Un escalado global basado en la longitud contralateral, que garantiza la correspondencia morfológica con el miembro sano.

2. Un escalado localizado por perímetros, que adapta los puntos de contacto a la circunferencia real del muñón sin comprometer la alineación ni la transmisión de fuerza del sistema.

De esta manera, el modelo puede personalizarse a cualquier mano o dedo, conservando la integridad funcional del mecanismo protésico y asegurando confort, estabilidad y correcta transferencia de movimiento.

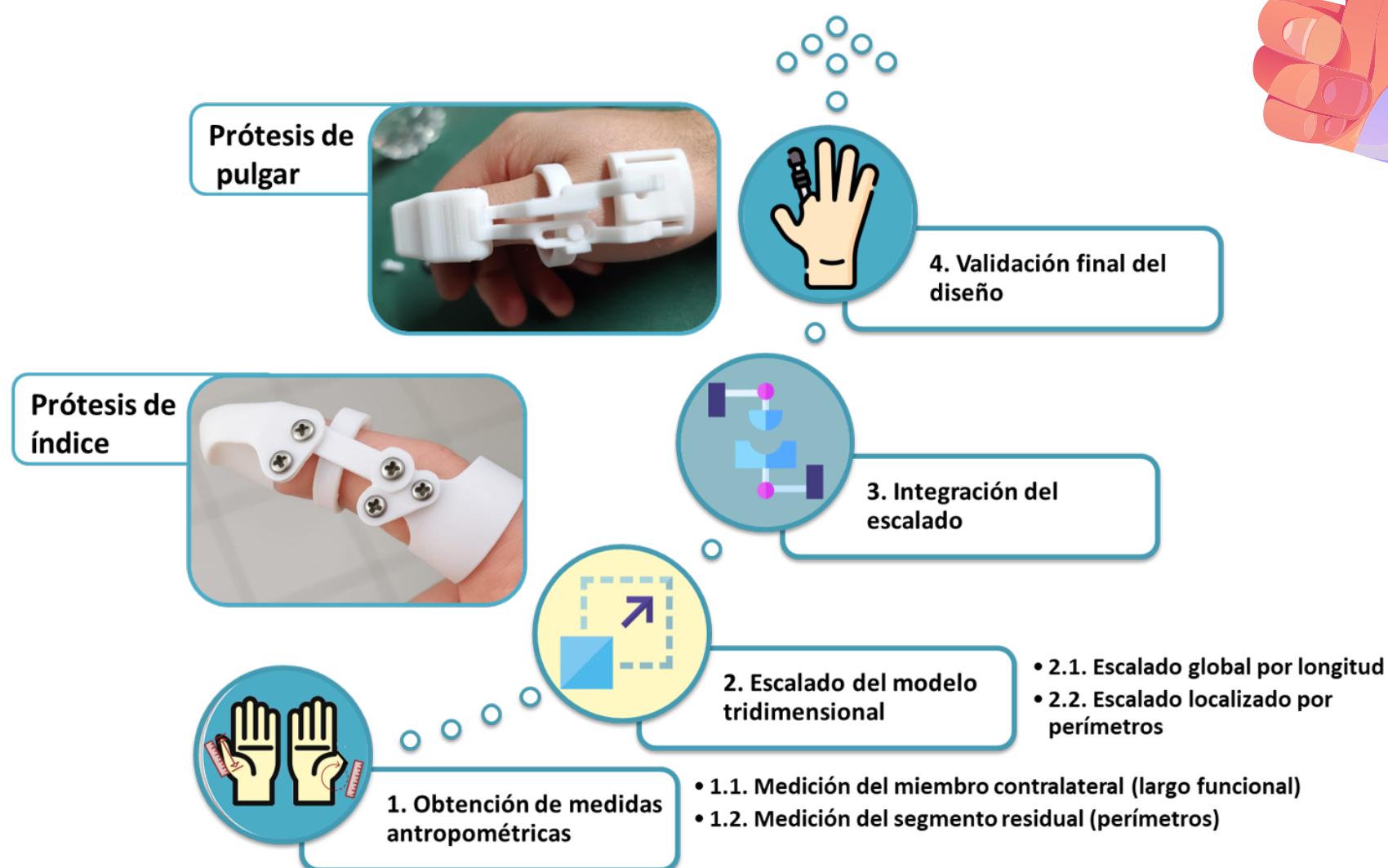


Figura 1. Proceso estandarizado para la fabricación de prótesis para amputaciones de dedo
Fuente: elaboración propia.

Los avances en el proyecto muestran un modelo digital de pulgar e índice, adaptado anatómicamente a las características del usuario y un acoplamiento inicial definido. Asimismo, se estableció una estructura que otorga movilidad y funcionalidad para mejorar la calidad de vida de los pacientes, proyectando un diseño que sea replicable y escalable.

El proyecto demuestra la viabilidad de emplear herramientas tanto digitales como tradicionales para la fabricación de prótesis parciales de mano. Esto permitió a los estudiantes del Semillero BiReDi aplicar sus conocimientos en diseño y rehabilitación, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los pacientes, incluso si estos ya se han adaptado a la ausencia del miembro.

«MÁS ALLÁ DE LA
ESTÉTICA, LAS
PRÓTESIS PARCIALES
DE DEDO BUSCAN
RESTABLECER
FUNCIONES
ESENCIALES COMO LA
PRECISIÓN, EL AGARRE
Y LA OPOSICIÓN»

Referencias

[1]E. Lathouwers et al., “Therapeutic benefits of lower limb prostheses: a systematic review,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 20, no. 1, p. 4, Jan. 2023, doi: 10.1186/s12984-023-01128-5.

[2]International Organization for Standardization, “ISO 8549-1:2020, Prosthetics and orthotics—Vocabulary—Part 1: General terms for external limb prostheses and external orthoses,” 2020. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:8549:-1:ed-2:v1:en>.

[3]K. C. Chui, S.-C. Yen, M. M. Lusardi, and M. Jorge, *Orthotics and prosthetics in rehabilitation*. Saunders, 2019.

[4]J. B. Webster and D. Murphy, *Atlas of orthoses and assistive devices*. Elsevier, 2018.

[5]J. Andrés-Esperanza, J. L. Iserte-Vilar, I. Llop-Harillo, and A. Pérez-González, “Effect of the thumb orientation and actuation on the functionality and performance of affordable prosthetic hands: Obtaining design criteria,” *Biomimetics*, vol. 7, no. 4, p. 233, Dec. 2022, doi: 10.3390/biomimetics7040233.

[6]E. Difonzo, G. Zappatore, G. Mantriota, and G. Reina, “Advances in finger and partial hand prosthetic mechanisms,” *Robotics*, vol. 9, no. 4, p. 80, Oct. 2020, doi: 10.3390/robotics9040080.

[7]J. P. Pazmiño Piedra, Á. A. Cedillo Illescas, and D. S. Solano Arpi, ‘Proceso de fabricación de prótesis y órtesis mediante impresión 3D con materiales plásticos reciclados,’ *ASCE Magazine*, vol. 4, no. 3, pp. 2012-2032, Aug. 2025, doi: 10.70577/asce/2012.2032/2025.

La revista *La Tekhné* se exime de cualquier responsabilidad respecto de la veracidad, exactitud o integridad de la declaración de contribuciones de autor (CRediT) consignada en este artículo. Dicha información fue suministrada por el autor de correspondencia, quien declara haber recopilado y consignado los roles de participación de los demás miembros del grupo, a quienes informó oportunamente y le manifestaron su conformidad con esta declaración.

Escritura, revisión y edición: Soto Cardona y Olaya Mira. **Redacción del borrador inicial:** Valencia Avendaño, Aguado Escudero, Freire Montoya, y Salazar López. **Conceptualización:** Soto Cardona, Olaya Mira y Valencia Avendaño. **Curación de datos:** Aguado Escudero, Freire Montoya, y Salazar López. **Investigación:** Valencia Avendaño, Aguado Escudero, Freire Montoya, y Salazar López. **Metodología:** Soto Cardona, Olaya Mira, Valencia Avendaño, y Freire Montoya. **Administración del proyecto, recursos y supervisión:** Soto Cardona y Olaya Mira. **Validación:** Valencia Avendaño, Aguado Escudero, Freire Montoya y Salazar López.

¿TE IMAGINAS CREANDO

IDEAS, IMÁGENES, SONIDOS O HISTORIAS?

Hay formas de ver el mundo que no todos tienen: notar los detalles, imaginar más allá de lo evidente y querer transformar lo que sientes en algo real.

Tal vez ese camino que estás buscando empieza aquí.



Artes de la Grabación y
Producción Musical



Ingeniería en Diseño Industrial



Cine

CONOCE TU CARRERA >>



CONECTA CON
TU FUTURO

ITM
Somos la U

De la amalgama a la biocerámica:

la evolución de los materiales dentales



Fuente: magnific. Licencia libre.

Libia Baena ¹
Jose A. Tamayo ²

¹Docente, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas,
Institución Universitaria ITM.

²Docente, Facultad de Ingenierías, Institución Universitaria ITM.

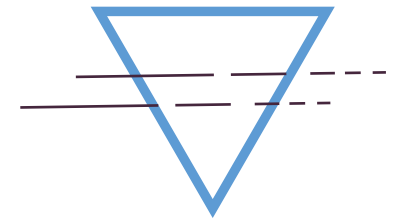
Durante más de dos siglos, las amalgamas fueron el material estrella de la odontología. Hoy, las biocerámicas transforman ese panorama con tratamientos más seguros, estéticos y capaces de estimular la regeneración de tejidos dentales y óseos.

La odontología ha experimentado una profunda transformación en las últimas décadas, pasando de un enfoque centrado casi exclusivamente en las reparaciones mecánicas y estructurales de los tejidos perdidos a una disciplina orientada a la regeneración biológica activa y funcional [1]. Esta transición, consolidada durante dos siglos, se inició con el dominio de las amalgamas metálicas y culminó en el perfeccionamiento de las biocerámicas modernas [2].

Tradicionalmente, la práctica se basaba en materiales como la amalgama de plata gracias a sus propiedades de resistencia y durabilidad, a pesar de su nula interacción con el tejido vivo. En este panorama surgen las biocerámicas, consideradas materiales cerámicos avanzados, creados para integrarse con los tejidos biológicos, estimular respuestas regenerativas y, eventualmente, ser reemplazados por el cuerpo humano.



1. ¿Qué es la amalgama dental?



Es uno de los materiales más conocidos en la odontología; durante más de dos siglos ha sido ampliamente usado para restauración debido a su bajo costo, durabilidad clínica y a que su técnica de manipulación es relativamente poco sensible en comparación con otros materiales restauradores. Este material consiste en una mezcla de mercurio líquido (50 %) con 50 % de una aleación metálica en polvo compuesta principalmente por [3]:

- *Mercurio (Hg)*: entre el 40 y el 50 %, representa la fase líquida que favorece la amalgamación.
- *Plata (Ag)*: contribuye a mejorar la resistencia mecánica y la dureza.
- *Estaño (Sn)*: mejora la resistencia a la corrosión.
- *Zinc (Zn)* actúa como desoxidante.

A pesar de su éxito como material dental, en 1919 la Armada estadounidense solicitó una evaluación de la normativa que regía el empleo de las amalgamas dentales, debido a las múltiples preocupaciones en el campo militar sobre su calidad, seguridad y durabilidad para tratar a ese personal. Este hecho permitió sentar las bases para el inicio de la investigación científica de los materiales dentales, lo cual motivó a la posterior creación de la Asociación Dental Americana en 1928 [4].

2. ¿Por qué restringir el uso de las amalgamas en el campo odontológico?

El uso de las amalgamas dentales ha disminuido significativamente debido a desventajas críticas con respecto a riesgos para la salud humana y efectos nocivos para el medioambiente. Las razones principales por las que ya no se utilizan (o se están eliminando) son [4]:

2.1 Toxicidad del mercurio

El mercurio es un metal pesado tóxico, lo cual puede ocasionar una absorción sistémica a través de los pulmones y producir daños a órganos como el cerebro y los huesos.

2.2 Adhesión limitada a los tejidos dentales

Se requieren cavidades con retenciones mecánicas para garantizar su estabilidad, lo que conlleva la eliminación de mayor cantidad de tejido dentario sano con el fin de evitar que la restauración falle durante la masticación.

2.3 Problemas biológicos y ambientales

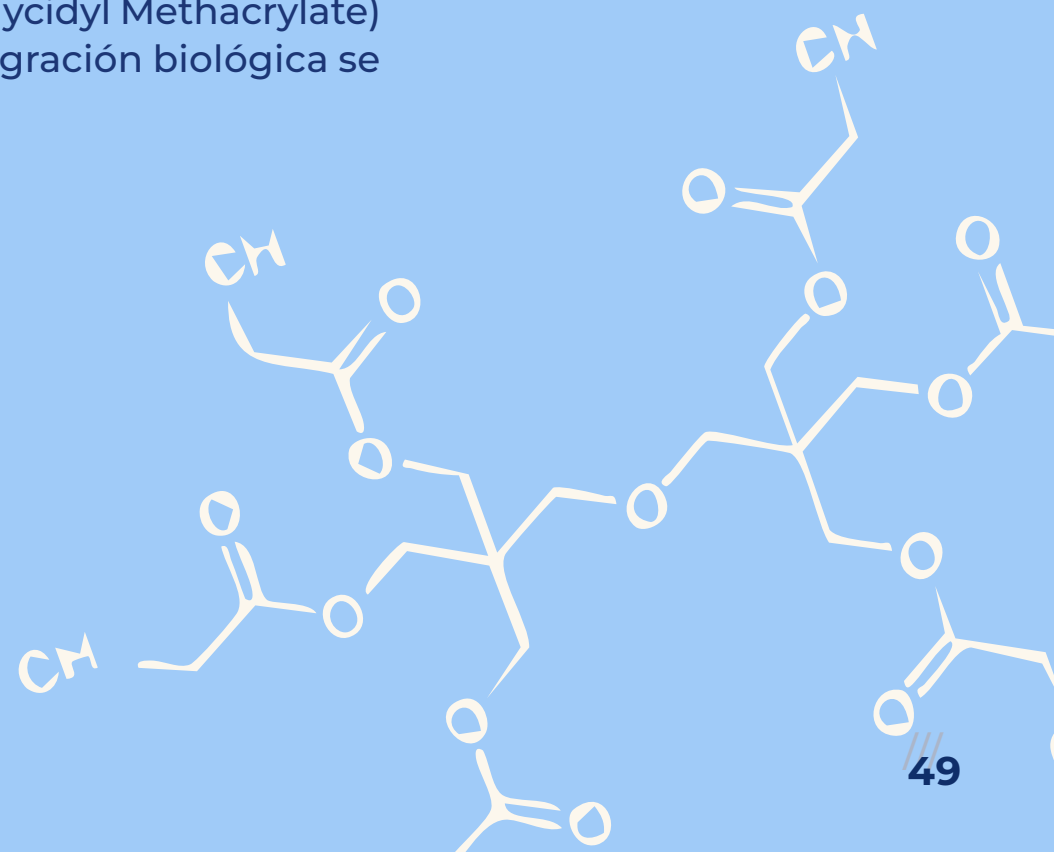
El contenido de mercurio en las amalgamas representa un grave peligro ambiental, además de su toxicidad por inhalación de vapores durante su eliminación. Esto motivó el acuerdo global, por medio del Convenio de Minamata en 2013, para reducir gradualmente su uso.

2.4 Estética

Su color metálico oscuro contradice las normas estéticas. Adicionalmente, es susceptible a sufrir deterioro por corrosión y galvanismo en el medio bucal [2].

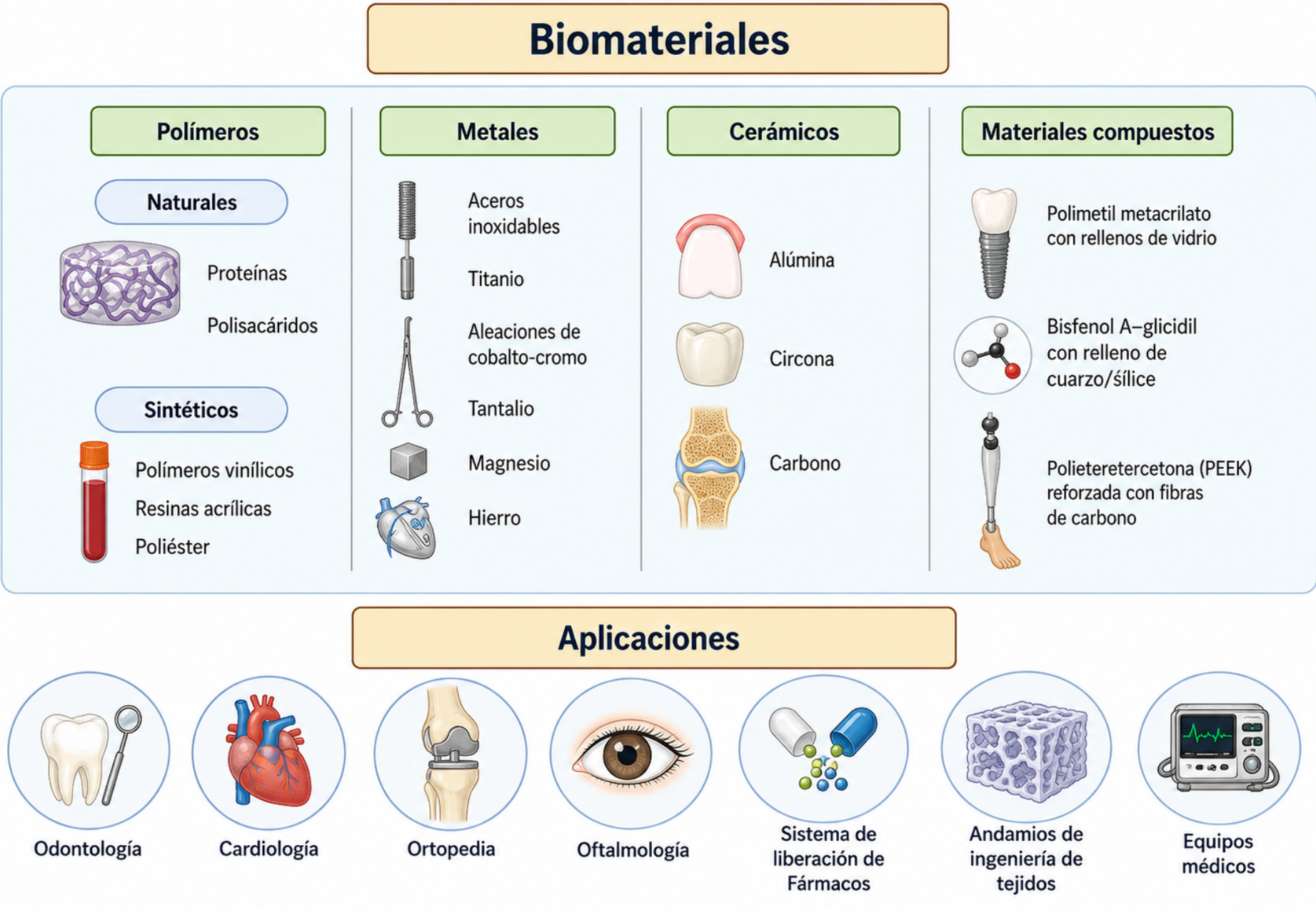
En este contexto surgen alternativas de reemplazo como el desarrollo de los silicatos en 1940, las resinas acrílicas y las resinas compuestas en 1962, con la molécula Bis-GMA (Bisphenol A-Glycidyl Methacrylate) [2]. Sin embargo, el verdadero salto hacia la integración biológica se produjo con la aparición de las biocerámicas.

«Las biocerámicas permiten tratamientos menos invasivos y una mayor preservación del tejido dental sano».



En la Figura 1 se muestran los biomateriales más empleados en medicina, ingeniería de tejidos y odontología.

Figura 1.
Biomateriales: tipos, composición y aplicaciones clínicas



Fuente: modificada a partir de [5].

3. El surgimiento de los biomateriales: de la inercia a la interacción

3.1 Primera generación: materiales biológicamente inertes

Estos aparecen a mediados del siglo xx ante la necesidad de desarrollar materiales con alta estabilidad química y propiedades mecánicas adecuadas para aplicaciones biomédicas [1]. Se caracterizan por presentar una interacción mínima con los tejidos biológicos, lo que permite reducir la respuesta inmunológica del huésped y mejorar la biocompatibilidad en aplicaciones clínicas [6].

Entre los materiales dentales bioinertes más relevantes está la alúmina (Al_2O_3), un compuesto caracterizado por su alta dureza y excelente resistencia a la corrosión, lo que fomentó su uso en odontología, principalmente en coronas e implantes; también, el carbono pirolítico es un biomaterial avanzado con excelentes propiedades mecánicas (similares a las del tejido óseo), químicas y de biocompatibilidad (hemocompatibilidad), lo que ha permitido su aplicación en implantes biomédicos de larga duración como válvulas cardíacas e implantes en el oído medio [7].

3.2 Segunda generación: materiales bioactivos y reabsorbibles

Hallazgos fundamentales reportados por Larry Hench a finales de la década de 1960 permitieron introducir el concepto de bioactividad, al demostrar que algunos materiales podían interactuar químicamente con tejidos vivos mediante la formación de enlaces directos con el hueso [1]. Sus aportes marcaron el inicio de la segunda generación de biomateriales dentales que, además de reemplazar tejidos, podían estimular su regeneración y reparación.

Se destacan:

- La hidroxiapatita, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, un compuesto que presenta una alta similitud química con la fase mineral del hueso y del esmalte dental [6];
- Los vidrios bioactivos (Bioglass® 45S5), que liberan iones encargados de estimular la regeneración del tejido óseo mediante la formación de una

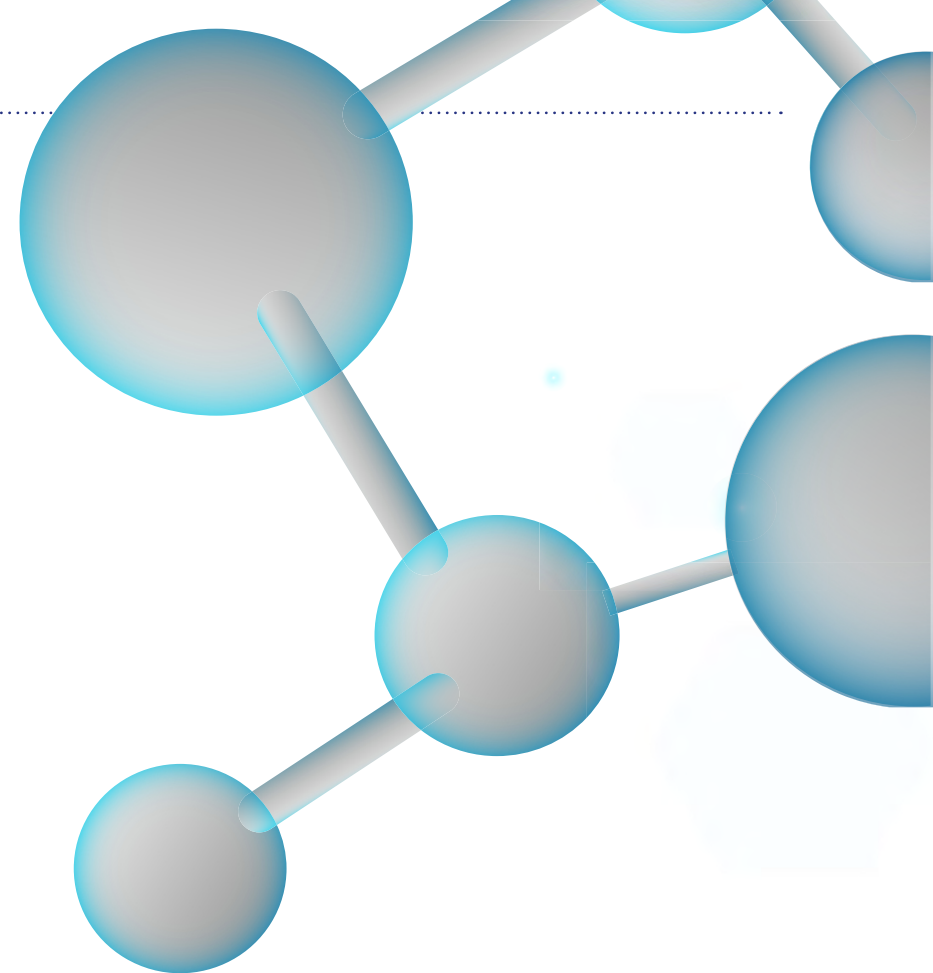
capa superficial de hidroxiapatita al estar en contacto con fluidos biológicos; y

- El fosfato tricálcico (TCP), un tipo de biomaterial reabsorbible que puede ser empleado tanto en el ámbito ortopédico como en el odontológico [1].

3.3 Tercera generación: regeneración funcional y nanotecnología

Actualmente, los biomateriales poseen propiedades bioactivas y biodegradables que permiten activar genes específicos encargados de regenerar el tejido vivo [6]. De esta manera, la introducción de nanobiocerámicas garantiza superficies de alta energía superficial y rugosidad a escala nanométrica, lo cual facilita la adsorción de proteínas y la producción de células osteogénicas [1].

En la Figura 2 se presenta una clasificación de los nanobiocerámicos en tres categorías principales: bioinertes (como Al_2O_3 y ZrO_2), caracterizados por su alta estabilidad química y resistencia mecánica; bioactivos (fosfatos de calcio y biovidrios), capaces de interactuar con el tejido biológico y favorecer la formación de hidroxiapatita; y bioabsorbibles (como el fosfato tricálcico), que se degradan progresivamente y son reemplazados por tejido óseo.



Asimismo, se ilustra su papel en la cicatrización ósea, desde la aplicación en defectos hasta la regeneración e integración del nuevo tejido, así como sus principales aplicaciones en implantes, cementos, andamios e injertos óseos. En conjunto, estos materiales destacan por su biocompatibilidad, capacidad de promover la regeneración tisular y su potencial en aplicaciones odontológicas y ortopédica.

**«La odontología
regenerativa combina
biomateriales,
nanotecnología y
manufactura digital
para desarrollar
tratamientos más
precisos».**

Figura 2.
Nanobiocerámicos: clasificación, función y aplicaciones en la regeneración ósea



Fuente: modificada con IA a partir de [8].

4. ¿Cuáles son las biocerámicas más empleadas en odontología y por qué?

Son aquellas que poseen excelentes propiedades bioinertes, bioactivas, reabsorbibles y mecánicas, tales como:

4.1. Zirconia (ZrO_2)

Es un compuesto que posee una elevada resistencia a la fractura por lo que ha sido comúnmente llamado «el acero cerámico».

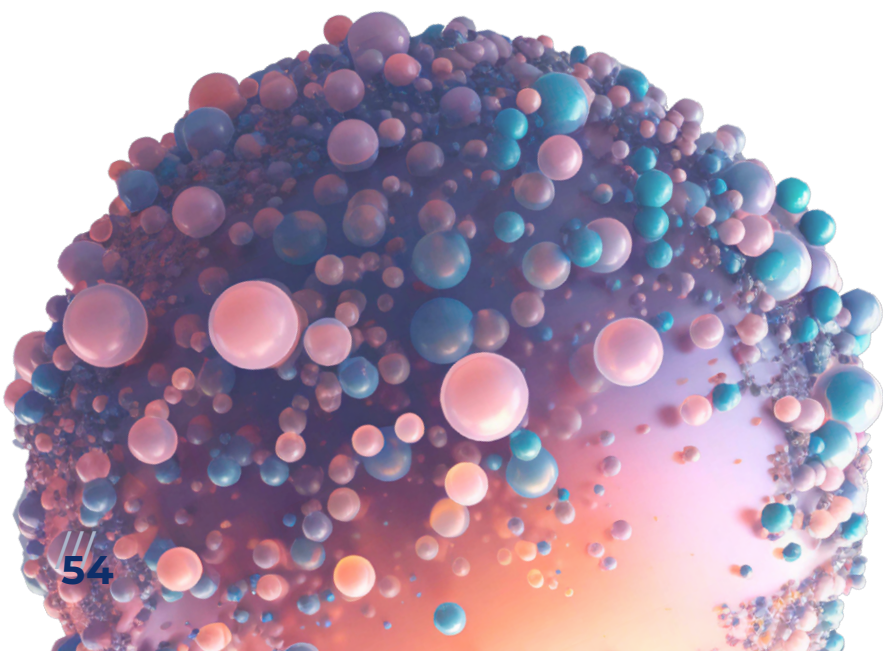
Por qué se usa: posee una estética superior muy similar a la del diente natural [1], es altamente biocompatible, tiene buen comportamiento frente a la corrosión y no libera iones metálicos [1]. Aplicaciones: ha sido empleado principalmente en coronas de recubrimiento total y en pilares de implantes.

4.2. Silicatos de calcio (Agregado de Trióxido Mineral MTA y biodentine)

Se trata de cementos biocerámicos gracias a su capacidad de interactuar con tejidos vivos. Estos materiales representan uno de los avances más significativos en endodoncia regenerativa, debido a que su carácter hidrofílico y capacidad de fraguar en presencia de humedad son una ventaja primordial en condiciones clínicas donde el control de la humedad es restringido.

Por qué se usa: destacan por su alta bioactividad, puesto que, al ser hidratados con fluidos biológicos, liberan iones de calcio, lo cual favorece la creación de un ambiente alcalino y, por consiguiente, la formación de hidroxiapatita en la interfase material-dentina [1].

Su pH alcalino confiere propiedades antibacterianas y la formación de tejidos duros [7]. Aplicaciones: empleados en recubrimiento pulpar directo, reparación de perforaciones radiculares y obturación retrógrada en cirugía endodóntica, entre otras.



4.3. Hidroxiapatita (HA)

Es un material bioactivo con una composición química igual a la de la fase mineral de los dientes y del hueso humano [1]. Por qué se usan: por su excepcional capacidad de unirse directamente con tejidos óseos sin inducir respuestas inmunológicas adversas, lo que favorece la biocompatibilidad y mejora la integración de otros materiales como los elementos implantables [7].

Aplicaciones: se emplea como recubrimiento de implantes de titanio para promover la oseointegración, también como relleno de defectos óseos y en la fabricación de andamios en el campo de la ingeniería de tejidos [7].

4.4. Vidrios bioactivos (bioglass)

Estos materiales fueron desarrollados inicialmente por Larry Hench y se caracterizan por su excelente capacidad de enlazarse tanto con tejidos óseos como blandos [9].

Por qué se usa: liberan iones bioactivos encargados de fomentar la actividad celular y la regeneración tisular. Aplicaciones: con frecuencia se emplean en injertos óseos, en el tratamiento de defectos periodontales y en restauraciones dentales, con el fin de promover la remineralización [1].

4.5. Fosfato tricálcico (TPC)

Es un biomaterial con excelentes propiedades de biocompatibilidad, osteoconductividad y biodegradación controlada, por lo que se utiliza ampliamente en odontología para la regeneración ósea [10].

Por qué se usa: porque puede degradarse de manera progresiva en el organismo, liberando calcio y fosfato, lo que garantiza la mineralización y la formación de nuevo tejido óseo [10]. Aplicaciones: se emplea en el tratamiento de defectos periodontales intraóseos [10], como sustituto de injertos óseos y en la fabricación de andamios para ingeniería de tejidos duros [1].

4.6. Cerámicas vítreas (disilicato de litio y porcelanas)

Son biomateriales ampliamente usados en odontología restauradora por su excelente biocompatibilidad y resistencia mecánica, así como su alto valor estético.

Por qué se usa: reproducen con gran fidelidad la apariencia natural del diente, garantizan un control estricto de la translucidez y del color; además, pueden fabricarse mediante CAD (Diseño Asistido por Computador CAM (Manufactura Asistida por Computadora). Aplicaciones: carillas, coronas, incrustaciones.

5. **Ventajas de las biocerámicas frente a las amalgamas como materiales dentales**

Las biocerámicas se han convertido en una de las alternativas más prometedoras frente a los múltiples problemas que conllevaba el uso de las amalgamas en odontología. En este sentido, se presentan como un avance fundamental en el cambio de un enfoque basado exclusivamente en la reparación mecánica a una odontología dirigida a la regeneración biológica de los tejidos.

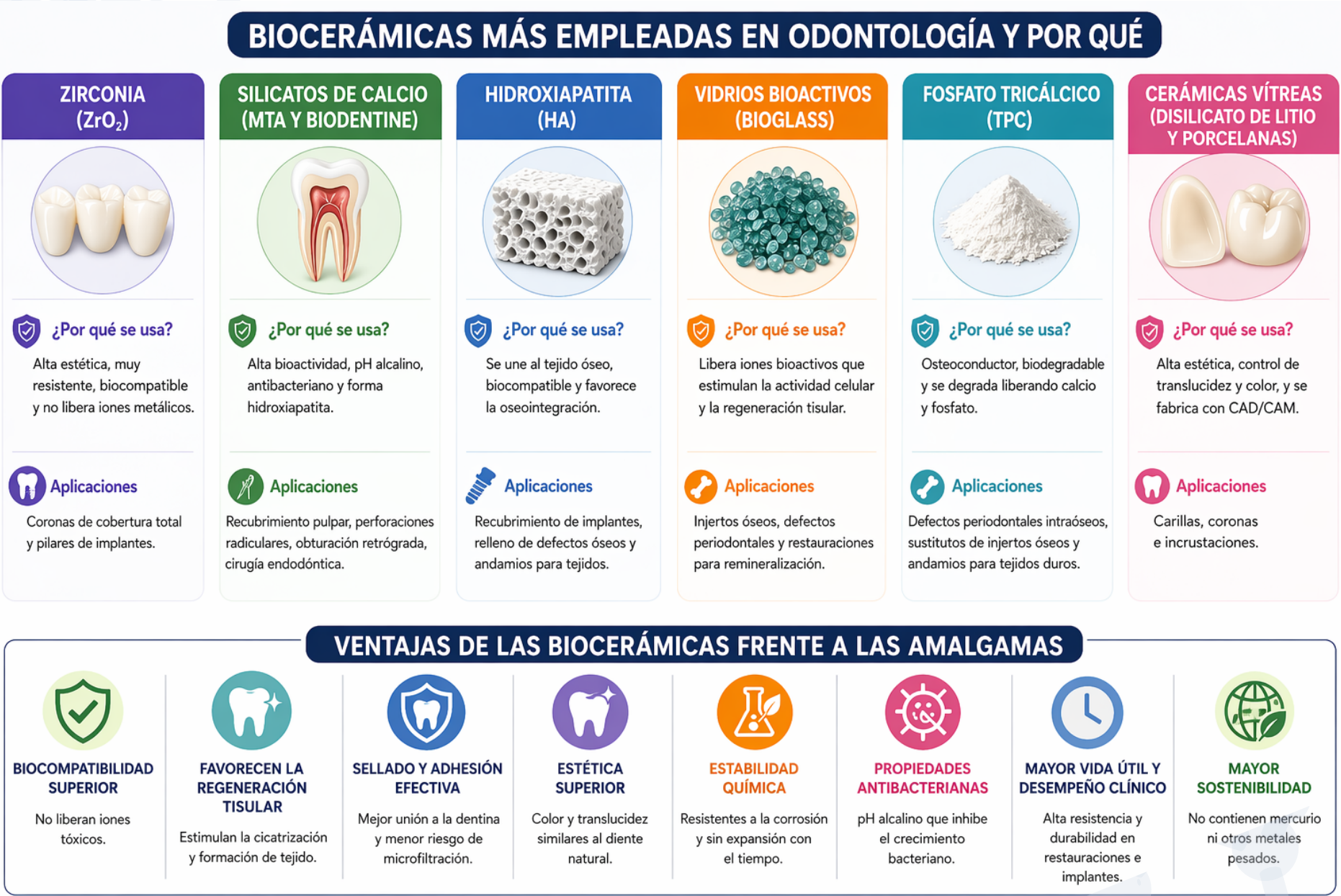
A continuación, se enumeran algunas de las ventajas que presentan las biocerámicas dentales respecto a las amalgamas.

La Figura 3 presenta las biocerámicas más empleadas en odontología, incluyendo zirconia, silicatos de calcio (MTA y biodentine), hidroxiapatita, vidrios bioactivos, fosfato tricálcico y cerámicas vítreas. Se describen sus fundamentos de uso en función de propiedades como biocompatibilidad, bioactividad, osteoconducción, estabilidad química y estética.

Asimismo, se ilustran sus aplicaciones clínicas en restauraciones, recubrimientos pulpaes, injertos óseos y rehabilitación dental.

Finalmente, se destacan sus ventajas en relación con materiales tradicionales como las amalgamas, entre ellas la mayor biocompatibilidad, capacidad de promover la regeneración tisular, mejor adhesión, propiedades antibacterianas y mayor desempeño clínico a largo plazo.

Figura 3.
Biocerámicas dentales: clasificación, usos y beneficios frente a amalgamas



5.1 Preservación de la estructura dental (adhesión vs. retención mecánica)

5.1.1 Unión adhesiva al tejido dentario.

Las biocerámicas permiten un sellado o adhesión mediante mecanismos químicos o micromecánicos, mientras que las amalgamas no establecen enlaces con el diente; además, requieren de cavidades más grandes, lo cual sacrifica tejido sano, para poder colocar los sistemas de retención mecánica [12].

5.1.2 Odontología poco invasiva.

Gracias a su capacidad de adhesión, las preparaciones cavitarias son más pequeñas; de esta manera se conserva el tejido sano.

5.2 Regeneración funcional y bioactividad

5.2.1 Interacción con tejidos vivos.

Las biocerámicas poseen capacidades bioactivas, mientras que las amalgamas solo se limitan a rellenar cavidades. Por tanto, las biocerámicas tienen la capacidad de interactuar con el entorno biológico con el fin de favorecer la formación de dentina reparadora y regeneración ósea.

5.2.2 Sellado biológico garantizado

Existen materiales capaces de generar capas superficiales de hidroxiapatita cuando están en contacto con fluidos biológicos tales como el MTA (agregado trióxido mineral) y el biodentine. Estas capas crean un sellado hermético que garantiza la reducción de posibles infiltraciones bacterianas [1].

5.3 Compatibilidad biológica y cuidado ambiental

5.3.1 Cero mercurio.

Las biocerámicas empleadas en odontología no contienen mercurio, a diferencia de las amalgamas dentales que poseen este metal pesado y tóxico en aproximadamente un 50 % de su composición [12].

5.3.2 Cuidado ambiental.

El empleo de las biocerámicas en odontología cumple con las directrices establecidas por el Convenio de Minamata, encaminado a disminuir paulatinamente el uso de amalgamas dentales para fomentar el cuidado del medioambiente.

5.4 Avanzada estética

5.4.1 Apariencia idéntica al diente natural.

Las biocerámicas zirconia y disilicato de litio copian con gran precisión características ópticas de los dientes naturales, tales como: color, translucidez y textura, alcanzando reparaciones y restauraciones de avanzada estética [1].

5.4.2 Alta duración del color

Las biocerámicas mantienen su color durante largos períodos, mientras que las amalgamas tienden a mancharse con el paso del tiempo o a producir pigmentación en los tejidos dentales circundantes debido a su corrosión.

5.5 Propiedades térmicas y eléctricas

5.5.1 Conductividad térmica muy baja

Las biocerámicas son aislantes térmicos, lo que ayuda a proteger la pulpa dental, mientras que las amalgamas, al ser aleaciones metálicas, tienen alta conductividad térmica, lo que facilita la transmisión del calor y puede causar sensibilidad dental [12].

5.5.2 Cero galvanismos orales

Las biocerámicas evitan la producción de corrientes galvánicas cuando hacen contacto con otros metales presentes en la cavidad bucal, algo que sí puede ocurrir con las amalgamas.

5.6 Personalización mediante tecnologías de manufactura avanzada

5.6.1 Alta precisión digital (CAD/CAM)

Muchas restauraciones y reemplazos de dientes pueden fabricarse con biocerámicas mediante sistemas de manufactura avanzada asistida por computadora como CAD/CAM o impresión 3D. Estas técnicas ofrecen alta precisión, ajuste milimétrico y adaptabilidad a la anatomía específica de cada paciente [7].

«Más allá de la resistencia mecánica, los nuevos materiales dentales buscan integrarse biológicamente con el cuerpo humano».

Referencias

- [1] L. Sonowal, S. Gautam, L. T. Mambiri, D. Depan, “Advancements of Bioceramics in Biomedical Applications,” *Next Materials*, vol. 9, p. 101010, ago 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2025.101010>
- [2] «Recomendaciones para el uso de biomateriales de inserción plástica: Ahorro de tejidos dentarios», OPS/OMS | *Organización Panamericana de la Salud*, 25 de julio de 2025. <https://www.paho.org/es/documentos/recomendaciones-para-uso-biomateriales-insercion-plastica-ahorro-tejidos-dentarios>
- [3] R. Van Noort, *Introduction to Dental Materials*, Mosby, 1994. [Online]. Accessed: Mar 12, 2026. Available at: http://digitool.hbz-nrw.de:1801/web-client/DeliveryManager?pid=2228496&custom_att_2=simple_viewer
- [4] K. J. Anusavice, C. Shen, H. R. Rawls, *Phillips’ Science of Dental Materials*, Saunders, 2012. [Online]. Accessed: Mar 12, 2026. Available at: <https://shop.elsevier.com/books/phillips-science-of-dental-materials/anusavice/978-1-4377-2418-9>
- [5] J. D. R. Aguilera-Márquez, G. T. De Dios-Figueroa, E. E. Reza-Saldivar, T. A. Camacho-Villegas, A. A. Canales-Aguirre, and P. H. Lugo-Fabres, “Biomaterials: Emerging Systems for Study and Treatment of Glioblastoma,” *Neurology Perspectives*, vol. 2, pp. S31–S42, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neurop.2021.12.001>
- [6] A. M. Rheima, et al., “Nano Bioceramics: Properties, Applications, Hydroxypapatite, Nanohydroxypapatite and Drug Delivery,” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 10, p. 100869, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100869>
- [7] H. K. A. El-Hamid, “Advanced Bioceramics: Properties, Fabrication and Applications,” *Current Nanoscience*, vol. 21, no. 5, pp. 799–813, Aug. 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.2174/0115734137317518240723112352>
- [8] G. Harini, R. Bharathi, A. Sankaranarayanan, A. Shanmugavadivu, and N. Selvamurugan, “Nanoceramics-Reinforced Chitosan Scaffolds in Bone Tissue Engineering,” *Materials Advances*, vol. 4, no. 18, pp. 3907–3928, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1039/D3MA00422H>
- [9] J. F. Shackelford, *Bioceramics: Advanced Ceramics*, vol. 1, CRC Press, 2003.
- [10] J. S. Al-Sanabani, A. A. Madfa, and F. A. Al-Sanabani, “Application of calcium phosphate materials in dentistry,” *International Journal of Biomaterials*, vol. 2013, pp. 1–12, Jan. 2013, doi: <https://doi.org/10.1155/2013/876132>
- [11] P. A. A. S. P. Kumara, P. R. Cooper, P. Cathro, M. Gould, G. Dias, and J. Ratnayake, “Bioceramics in Endodontics: Limitations and Future Innovations—A Review,” *Dentistry Journal*, vol. 13, no. 4, p. 157, Apr. 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/dj13040157>
- [12] C. D. Hatrick, W. S. Eakle, y W. F. Bird, *Materiales dentales: aplicaciones clínicas*, El manual moderno, 2012.



✦ ÚLTIMOS DÍAS DE INSCRIPCIONES ✦

ELIGE UNA U QUE TAMBIÉN TE ELIJA A TI.

Da el primer paso hacia la carrera
que sueñas y **construye tu futuro**
con el ITM.

Inscríbete ahora
y asegura tu lugar.

Es tu momento de brillar.

ITM
Somos la U



