



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

APLICACIONES DEL GRAFENO EN PRÓTESIS  
DENTAL E IMPLANTOLOGÍA.

***TESINA***

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**CIRUJANA DENTISTA**

P R E S E N T A:

MICHELLE MARILYN RAMOS GARDUÑO

TUTORA: Esp. LIDIA MONTOYA CÓRDOVA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



---

Agradezco a:

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Odontología por todos los conocimientos y servicios que me ofrecieron durante toda mi formación académica.

A la Esp. Lidia Montoya por su apoyo y tiempo que me brindo para ayudarme a realizar éste trabajo.

A todos los profesores de quienes aprendí grandes conocimientos y cada año me hicieron mejor alumna. A mis pacientes que brindaron su confianza en mí para brindarles un beneficio y aprender con ellos de mi carrera.

A mis padres, porque sin su apoyo emocional y económico no hubiera podido concluir cada año de la licenciatura. Gracias por todo el esfuerzo que han hecho para que nunca me faltase nada. Al igual a mis hermanas por sus aportaciones, son grandes inspiraciones para mí.

A mis amigos que me acompañaron durante 5 años, gracias por su leal y bonita amistad.



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>OBJETIVO</b> .....	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 1 GRAFENO</b> .....	<b>7</b>
1.1 Historia.....	7
1.2 Propiedades.....	9
1.2.1 Químicas .....	10
1.2.2 Físicas .....	11
1.2.3 Mecánicas .....	12
1.3 Métodos de obtención .....	13
1.3.1 Bottom-Up .....	13
1.3.2 Top-Down .....	15
1.4 Derivados .....	15
1.4.1 Óxido de grafeno .....	16
1.4.2 Óxido de grafeno reducido .....	16
1.5 Aplicaciones en general .....	17
<b>CAPÍTULO 2 APLICACIONES DEL GRAFENO EN PRÓTESIS</b>	
<b>DENTAL FIJA Y REMOVIBLE</b> .....	<b>19</b>
2.1 Resinas acrílicas .....	20
2.2 Comparación con materiales usados en prótesis dental fija.....	22
2.2.1 Circonio .....	24
2.2.2 Cerámicas feldespáticas .....	26
2.2.3 Metal porcelana .....	28
2.3 Cementos de ionómero de vidrio con grafeno fluorado .....	29
<b>CAPÍTULO 3 APLICACIONES DEL GRAFENO EN</b>	
<b>IMPLANTOLOGÍA</b> .....	<b>31</b>
3.1 Implantes dentales.....	31
3.1.1 Implantes de titanio .....	32



---

3.1.2 Implantes de circonio.....	33
3.1.3 Tratamientos superficiales.....	34
3.2 Implantes dentales recubiertos con grafeno .....	37
3.2.1 Efecto osteogénico .....	38
3.2.2 Efecto antibacterial .....	39
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>42</b>



---

## INTRODUCCIÓN

La prótesis dental y la colocación de implantes en zonas de pérdida dental, son alternativas actuales para la rehabilitación oral. Hoy en día existe una amplia gama de materiales con los que se pueden elaborar prótesis dentales, pero todas difieren una de las otras en muchos aspectos como la resistencia, la estética y qué tan funcionales llegan a ser a lo largo del tiempo. Los implantes dentales requieren de una buena planeación, adecuado tratamiento quirúrgico y un buen proceso de osteointegración, para que éstos tengan éxito a largo plazo. Es fundamental que la superficie de los implantes dentales estén libres de agentes etiológicos primarios, para evitar la formación de biopelícula alrededor del implante, pero hay que recalcar que lo principal es que haya siempre una buena conexión directa estructural y funcional entre el hueso y la superficie de un implante.

En los últimos años, el grafeno ha sido de gran interés en muchas áreas, y sus investigaciones en el ámbito dental han tenido mucho avance. En pequeñas cantidades añadidas a cualquier material, puede causar grandes cambios mecánicos y fisicoquímicos. El grafeno puede ser añadido a materiales dentales, con los que se pueden elaborar prótesis dentales mucho más resistentes y además presenta una gran propiedad que es el evitar la formación de biopelícula. Su aplicación en implantología está más dirigida a los procesos de osteointegración por medio de superficies de implantes de Titanio recubiertos con grafeno, con los que se puede llegar a tener una mejor unión entre el tejido óseo y el implante.



---

## OBJETIVO

Describir las propiedades del grafeno y su uso en el área de prótesis dental e implantología.

## CAPÍTULO 1 GRAFENO

El Grafeno es un nanomaterial bidimensional (2D) formado por átomos de carbono unidos mediante enlaces covalentes  $sp^2$ , los cuales forman una lámina plana de forma hexagonal similar a la de un panal de abejas. Es considerado el material más resistente jamás descubierto, con un tamaño menor a 1 nanómetro (nm) de grosor. <sup>1</sup>

Un nanomaterial es considerado así cuando sus propiedades morfológicas son más pequeñas que un micrómetro, esto es de 1 a 100 nm. <sup>2</sup> Fig. 1



Fig.1 Lámina de grafeno con forma similar al de un panal de abejas. <sup>3</sup>

### 1.1 Historia

Su descubrimiento se le atribuye a dos grandes científicos de nacionalidad rusa, Kostya Noveslov y Andre Geim, quienes en 2003 en la Universidad de Manchester, Reino Unido, empezaron a investigar las grandes propiedades y el potencial del grafeno. El elemento clave en su investigación fue el grafito, que está formado a partir de hojas de grafeno organizadas en capas, siendo una estructura tridimensional. <sup>4</sup> Fig. 2

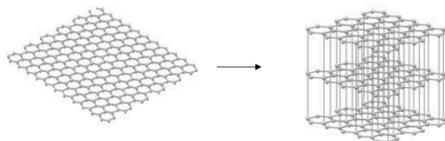


Fig. 2 Grafito formado por pilas de láminas de grafeno. <sup>5</sup>

En su experimento utilizaron un bloque de grafito y cinta adhesiva conocida comercialmente como Scotch® Tape. Colocaron ésta cinta en el bloque, y notaron que cuando la desprendían, algunas escamas se quedaban pegadas. Repitieron éste proceso de exfoliación varias veces para reducir el grosor del grafito hasta que aislaron varias capas de lámina de grafeno. Con éste sencillo experimento, descubrieron un nuevo material más resistente que los demás alótropos de carbono, el grafeno, término que fue designado por La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, más conocida por sus siglas en inglés IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) y que reemplazó al antiguo término “capas de grafito”. La pareja de investigadores publicó su gran hallazgo en 2004, el cual los hizo ganadores del Premio Nobel de Física en 2010.<sup>4,5</sup> Fig. 3



Fig. 3 Kostya Novoselov y Andre Geim recibiendo su medalla del Premio Nobel en 2010.<sup>6</sup>

## 1.2 Propiedades

El grafeno es un nanomaterial con características muy interesantes. Éstas propiedades junto a la abundancia de carbono en la naturaleza han hecho al grafeno ganarse el adjetivo de “material del futuro”.<sup>7</sup>

La última asombrosa propiedad que se le descubrió, es la capacidad de autoenfriamiento y de autorreparación. Al parecer, si una capa de grafeno pierde algunos átomos de carbono por cualquier motivo, los átomos cercanos a dicho hueco se acercan y cierran el espacio.<sup>1</sup> Fig. 4



Fig. 4 Principales propiedades del Grafeno.<sup>3</sup>

### 1.2.1 Químicas

El grafeno presenta grandes propiedades químicas (tabla 1), entre las cuales se ha descubierto que los nanomateriales reforzados o recubiertos con grafeno tienen efectos antimicrobianos, esto debido a 3 factores:

- La estructura 2D del grafeno puede envolver las células, induciendo estrés mecánico y limitando la absorción de nutrientes hacia ellas.
- Los bordes de la estructura hexagonal que presenta el grafeno, actúan como tipo cuchillos, penetrando la membrana celular.
- Producción de estrés oxidativo.<sup>1, 4</sup>

Tabla 1. Principales propiedades químicas del grafeno.

<b>Soporta la radiación ionizante</b>	El grafeno tiene una alta reactividad química; si la luz incide sobre él, emite energía pero sin llegar a ionizarse, es decir, los átomos no se desprenden del electrón.
<b>Bactericida</b>	Es capaz de inhibir el crecimiento de microorganismos como bacterias, virus y hongos.
<b>Biocompatible y no citotóxico</b>	Materiales recubiertos con grafeno no son citotóxicos. Los residuos derivados de la producción de grafeno pueden ser dañinos para la salud, pero ya oxidado tiene efectos de estrés oxidativo.
<b>Concentración Intrínseca</b>	100 veces mayor que en el Silicio.
<b>Ecológico y reciclable</b>	Al ser un alótropo de carbón.

Se han realizado análisis con cepas donde se aislaron muestras de placa y saliva de pacientes pediátricos, en las cuales al colocar nanoplaquetas de grafeno reduce la cantidad de Streptococcus Mutans. Otro mismo estudio in vitro de adhesivos reforzados con nanoplaquetas de grafeno, observó la disminución en el crecimiento y adhesión de Streptococcus Mutans, esto sin alterar las propiedades del adhesivo. <sup>8</sup> Fig. 5

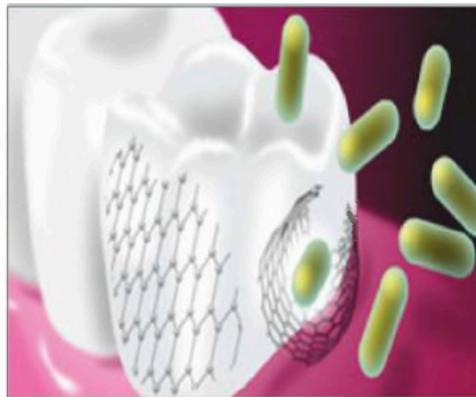


Fig. 5 Representación del mecanismo del grafeno en dónde envuelve las células. <sup>4</sup>

### 1.2.2 Físicas

El grafeno posee características muy interesantes. Su extrema delgadez lo hace ser transparente y al mismo tiempo muy flexible, además de que es uno de los materiales más duros y resistentes. El grafeno presenta increíbles propiedades térmicas, electrónicas y ópticas (tabla 2). <sup>1, 4</sup>

Tabla 2. Principales propiedades físicas del grafeno.

<b>Es muy fino</b>	Considerado el material más fino conocido con una dimensión de 1 átomo de grosor, (monocapa), esto es 0.00000000001 metros, o bien, 0.0000001 milímetros.
--------------------	---

Continúa...



...continuación  
 Tabla 2. Principales propiedades físicas del grafeno.

<b>Ultra ligero</b>	Sólo pesa 0,7 miligramos Absorbe sólo el 2.3% de la luz.
<b>Alta conductividad eléctrica</b>	Conduce la electricidad tan bien como el cobre: su conductividad eléctrica es $0,96 \cdot 10^8 (\Omega \cdot m^{-1})$ , mientras que la del cobre es de $0,60 \cdot 10^8 (\Omega \cdot m^{-1})$ y la del silicio $4,5 \cdot 10^{-4} (\Omega \cdot m^{-1})$ .
<b>Alta conductividad térmica</b>	5, 000 W/mK, lo que permite disparar el calor y soportar intensas corrientes eléctricas sin calentarse.

### 1.2.3 Mecánicas

Actualmente, el grafeno se está investigando ampliamente como material de nanorelleno en composites debido a sus increíbles propiedades mecánicas.<sup>9</sup> Tabla 3

Tabla 3. Principales propiedades mecánicas del grafeno.<sup>1, 10</sup>

<b>Muy resistente</b>	200 veces más resistente que el acero. Su tensión de rotura es de 42 N/m, mientras que la del acero es de aproximadamente 0,40 N/m.
<b>Elástico</b>	Una lámina de grafeno puede estirarse un 10% de su tamaño de forma reversible, y puede doblarse hasta un 20% sin sufrir algún daño.
<b>Altamente rígido</b>	Soporta grandes fuerzas sin deformarse.

Continúa...



...continuación  
Tabla 3. Principales propiedades mecánicas del grafeno.

**Módulo de Young**

Alto (0.5 TPa), lo que quiere decir que tiene una gran resistencia a la rotura sin deformarse, propiedad muy útil en nanotecnología.

### 1.3 Métodos de obtención

Desde el momento en que se descubrieron las grandes propiedades del grafeno se han realizado varias formas de fabricación. Los investigadores consideran dos métodos principales para la fabricación de grafeno: el Bottom-Up y el Top-Down. De éstas técnicas se pueden obtener diversas formas, tamaños y composiciones de grafeno.<sup>8</sup>

Uno de los métodos para obtener grafeno es la deposición química de vapor (CDV) en el laboratorio, pero el producto que está libre de defectos se deriva mediante la exfoliación mecánica.<sup>9</sup>

#### 1.3.1 Bottom-Up

Incluye técnicas estándar como la deposición química de vapor, pirólisis, solución de exfoliación, síntesis de nanotubos de carbono, solvotermia, crecimiento epitaxial, entre otros. En éstas técnicas cada átomo de carbón forma tres enlaces conjugados, los cuales son capaces de proporcionar una conductividad eléctrica de muy alta calidad y una estabilidad particular.<sup>8</sup>

La técnica de solución de exfoliación se realiza a partir de polvos de grafito, los cuales son oxidados mediante el método de Hummer, a partir del cual se obtiene óxido de grafeno (GO) disperso en agua. Posteriormente se tiene

que separar el GO obtenido del grafito mediante un proceso de centrifugado. Éste mismo GO puede ser reducido por procesos químicos o térmicos obteniendo Óxido de grafeno reducido (rGO). La desventaja de éste proceso es que los derivados de grafeno obtenidos durante la síntesis, llegan a presentar múltiples impurezas en su estructura por los procesos de oxidación y reducción, dejando grupos funcionales con oxígeno en su estructura (fig. 6) .<sup>11</sup>

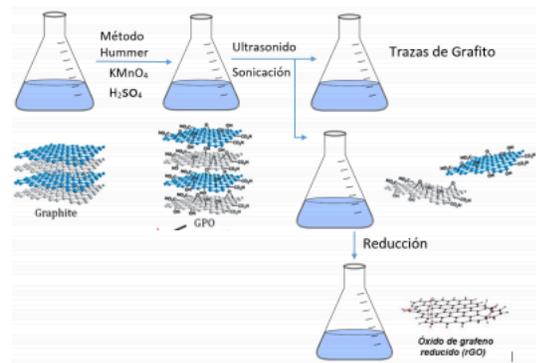


Fig. 6 Obtención de óxido de grafeno (GO) mediante el método de Hummer, utilizado en la técnica de “solución de exfoliación”.

De todos los métodos mencionados anteriormente, el que tiene mejores resultados es el denominado “Deposición Química de Vapor” (CVD por sus siglas en inglés), el cual consiste en hacer crecer grafeno principalmente sobre Níquel y Cobre, a partir de un horno de tubo capaz de resistir altas temperaturas, una cámara de vacío de cuarzo, un sistema de control de vacío y presión, y controladores de flujo másico de carbono y gases.<sup>11</sup> Fig. 7

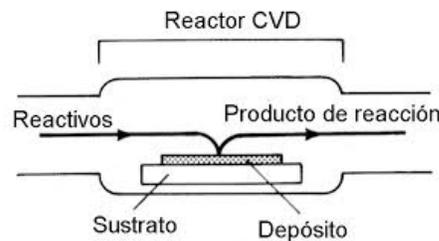


Fig. 7 Representación de una máquina de CVD con Cobre.<sup>12</sup>

### 1.3.2 Top-Down

Consiste en la producción de grafeno por separación o exfoliación mecánica o electroquímica, a base de solventes de grafito o sus derivados, en donde el resultado es una estructura cristalina y plana llamada “lámina”. En ésta lámina cada átomo de carbono se une a otros tres átomos o se encuentra a  $120^\circ$  uno del otro, con  $1.42 \text{ \AA}$  de distancia interatómica. Se utiliza actualmente en la industria del silicio.<sup>4,8</sup> Fig. 8

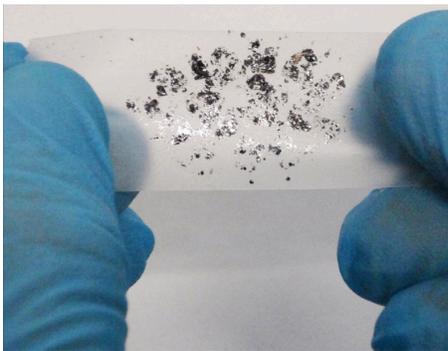


Fig. 8 Método de exfoliación mecánica del grafeno.<sup>13</sup>

La técnica de exfoliación mecánica tiene limitaciones, debido a que no se puede controlar el tamaño, el grosor, ni la orientación de las láminas de carbono, lo que obstaculiza que se produzca a mayor escala.<sup>11</sup>

### 1.3 Derivados

El óxido de grafeno (GO) y el óxido de grafeno reducido (rGO) son 2 de los derivados del grafeno, los cuales son las bases de las aplicaciones que se pueden lograr con el grafeno en odontología.<sup>9</sup>

### 1.4.1 Óxido de grafeno

Es una forma oxidada e hidrofílica del grafeno. Esta estructurado como una única capa atómica con grupos funcionales tales como carboxilo, epóxido e hidroxilo. La capa más superficial del GO y su capacidad de ser una molécula anfifílica, permite la adsorción de proteínas y medicamentos insolubles en agua. <sup>8</sup> Fig. 9

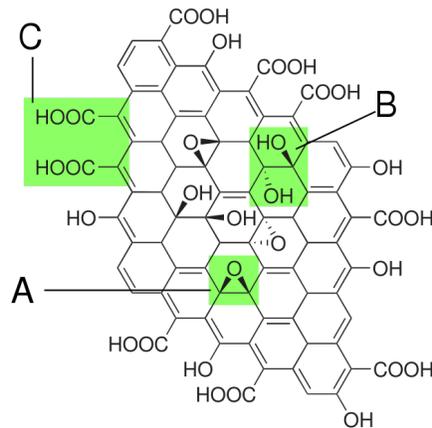


Fig. 9 Estructura del óxido de grafeno (GO), en donde **A** representa los grupo epóxido, **B** a los grupos hidroxilo y **C** el grupo carboxilo. <sup>14</sup>

### 1.4.2 Óxido de grafeno reducido

Como ya fue mencionado, el rGO se produce al reducir el GO a través de procesos de exposición química, térmica o ultravioleta. <sup>8</sup> Fig. 10

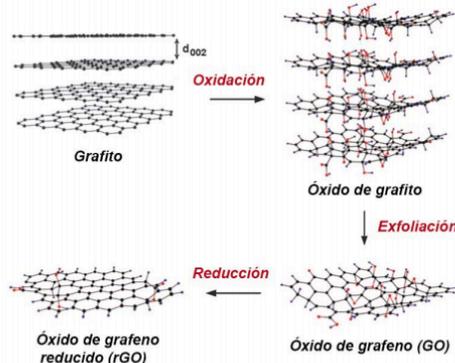


Fig. 10 Síntesis desde el grafito hasta el óxido de grafeno reducido. <sup>15</sup>



En el GO están presentes gran número de grupos funcionales y defectos, por ejemplo, la conductividad eléctrica se ve afectada por la alteración que dichos grupos producen en la hibridación  $sp^2$  de las láminas, haciendo que el GO sea eléctricamente aislante. Pero mediante el proceso de reducción, pueden eliminarse parte de estos grupos funcionales y mejorar la conductividad eléctrica. Además bajo determinadas condiciones, las láminas de rGO son estables. <sup>15</sup>

## 1.5 Aplicaciones en general

El grafeno tiene varios campos de aplicación como son la ingeniería, electrónica, área biomédica, entre otros. Se han hecho investigaciones para su uso en textiles y calzado, por ejemplo chalecos antibalas, cascos y ropa inteligente con fines médicos. <sup>1</sup>

En el área biomédica, se ha estudiado que los nanomateriales a base de grafeno, especialmente de GO, se usan como andamios para la regeneración cardíaca, nerviosa, piel, cartílago y tejido óseo. También puede ser usado para el suministro de fármacos, contribuir a la secuenciación de ADN, en biosensores, terapia contra el cáncer, etcétera. Los biosensores a base de grafeno se usan para la detección de pequeñas moléculas como la dopamina y glucosa, mejorando la respuesta de éstos. <sup>4, 8</sup>

En electrónica, el grafeno con su alta conductibilidad eléctrica y su capacidad de almacenar energía, hace que las baterías tengan mayor duración con menor tiempo de carga, y es capaz de generar electricidad a través de energía solar. Con éstas propiedades, los semiconductores elaborados con grafeno podrían reemplazar la tecnología existente para chips de computadora. <sup>1, 16</sup>



---

El grafeno también puede usarse en chips y procesadores, audífonos wireless, impresiones 3D, cámaras fotográficas, ordenadores, altavoces, audífonos, micrófonos, pantallas táctiles y flexibles. Por sus propiedades, el grafeno puede ser útil en la fabricación de aviones, satélites espaciales, automóviles, trenes y barcos haciéndolos más seguros. También en la construcción de carreteras y edificios, haciéndolos más resistentes.<sup>1</sup>

## CAPÍTULO 2 APLICACIONES DEL GRAFENO EN PRÓTESIS DENTAL FIJA Y REMOVIBLE

Las prótesis dentales fijas o removibles forman parte de las opciones para la rehabilitación dental y para algunos pacientes es la única solución para reemplazar los dientes. Los principales materiales con las que se elaboran prótesis dentales removibles suelen ser resinas acrílicas, principalmente polimetilmetacrilato (PMMA), y aleaciones de cromo cobalto. Actualmente hay una amplia gama para elaborar prótesis dentales fijas como metal porcelana, circonio, disilicatio de litio. Sin embargo, éstos materiales no están exentos de presentar una fractura. Todo material dental debe ser biocompatible, no liberar productos perjudiciales a la salud, presentar buenas propiedades físicas y mecánicas, entre otros, para asegurar un buen rendimiento y durabilidad a largo plazo. Gracias al descubrimiento del grafeno junto con sus grandes propiedades y sus aplicaciones en el área biomédica, hacen que los materiales dentales reforzados con grafeno sean candidatos ideales para usarlos en prótesis dental.<sup>10</sup> Fig. 11



Fig. 11 Coronas elaboradas de resina adicionada con grafeno.<sup>1</sup>

## 2.1 Resinas acrílicas

Las resinas acrílicas son polímeros duros, frágiles y cristalinos, que se utilizan como materiales termoestables ya que, tras su curado, no se pueden transformar ni moldear. El PMMA es el material más usado y el preferido para la fabricación de prótesis dentales totales y parciales. Sus grandes ventajas son su bajo costo, la relativa facilidad de uso, los simples equipos para su procesamiento y la buena estética que puede darle a las prótesis. Sin embargo, no satisface del todo los requisitos mecánicos que debe tener una prótesis y tiene algunas características que pueden comprometer el rendimiento físico y estético de una prótesis elaborada de PMMA, que incluyen la contracción al momento de la polimerización, porosidad, absorción de agua, la solubilidad, las tensiones de procesamiento, baja resistencia al impacto, baja resistencia transversal y de flexión derivada de la formación y propagación de grietas cuando se somete a esfuerzos mecánicos y en casos muy críticos la fractura.<sup>1, 10</sup> Fig. 12



Fig. 12 Prótesis total de PMMA fracturada.<sup>17</sup>

La incorporación del grafeno a las resinas acrílicas puede mejorar sus propiedades mecánicas, aumentando su módulo elástico, tenacidad, y

reducir la aparición de grietas y/o evitar que éstas se propaguen además de disminuir la contracción durante su polimerización en el laboratorio. Debido a que el grafeno es buen conductor térmico y que el proceso de post-polimerización de las resinas acrílicas necesita calor para completarse, la adición de grafeno permite una mayor conversión de polimerización. Los polímeros reforzados con grafeno presentan mayor módulo de resistencia específica gracias a que las tensiones se distribuyen en toda la estructura, haciéndolos capaces de soportar tensiones sin sufrir deformaciones. El grafeno tiene una elevada resistencia al impacto, útil en el caso de prótesis parciales o totales removibles en las que es posible un daño o rotura accidental si al caerse chocan con una superficie muy dura (fig. 13).<sup>1</sup>



Fig. 13 Prótesis total removible elaborada con PMMA con grafeno.

El autor Lee, en su trabajo, observó que al adicionar 0.5% de GO a PMMA, la resistencia a la flexión y la dureza de Vickers incrementaban. Además encontró que al agregar nanoesferas de GO causaba una reducción de la adhesión bacteriana al PMMA. Por otro lado, Alamgir, estudió la adición de GO y de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) al PMMA. Preparó 2 nanocompuestos diferentes, los cuales fueron PMMA + GO y PMMA + GO +  $\text{TiO}_2$ . Se les realizaron pruebas estructurales, térmicas y mecánicas y los nanocompuestos presentaron mayor resistencia a la deformación cuando se

compararon con PMMA puro. Las pruebas reforzadas con TiO<sub>2</sub> presentaron aún un módulo de Young más alto que el resto de las muestras.<sup>8</sup>

## 2.2 Comparación con materiales usados en prótesis dental fija

Los materiales restauradores reforzados con grafeno aumentan su resistencia. Se considera a la cerámica como uno de los mejores materiales útiles en las restauraciones indirectas, como coronas individuales o prótesis fija de 3 o más unidades, pero su uso es limitado debido a su baja tenacidad a la fractura y su fragilidad por la presencia de impurezas, poros y grietas. Los nanorellenos de grafeno en las cerámicas pueden mejorar la resistencia a la fractura y otras propiedades mecánicas de éste material.<sup>4</sup> Tabla 4

Tabla 4. Comparativa del uso del grafeno contras otros materiales.<sup>(1)</sup>

	PMMA	METAL	ZIRCONIA	DISILICATO DE LITIO	RESINA + GRAFENO
<b>Coronas individuales</b>	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Prótesis de más de 3 unidades</b>	x	✓	✓	x	✓
<b>Incrustaciones</b>	✓	✓	x	✓	✓
<b>Carillas</b>	x	x	✓	✓	✓
<b>Prótesis total</b>	✓	x	x	x	✓

En teoría, todos los materiales cerámicos actuales tienen una adecuada resistencia a la fractura porque todos superan el valor de 100 MPa (fig. 14) establecido por la Norma ISO 6872, pero existen muchas diferencias entre ellos.

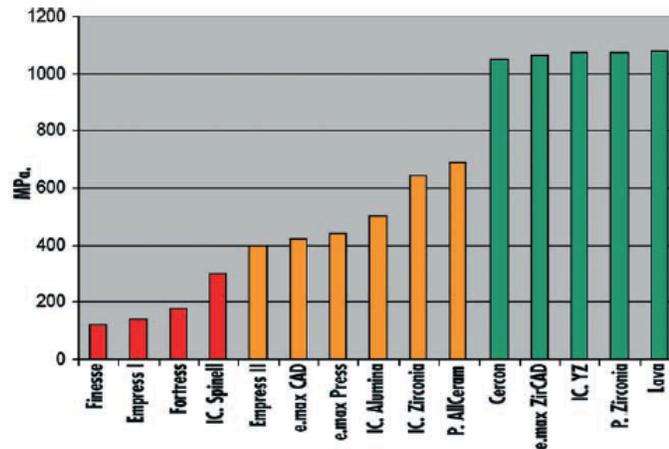


Fig. 14 Resistencia a la fractura en MPa de distintos materiales cerámicos.

Se usa como referencia la resistencia de las restauraciones metal-cerámica que esta comprendida entre los 400 y 600 MPa. En tema de resistencia de fractura, las cerámicas se pueden clasificar en:

- a) Baja Resistencia (100-300 MPa) → porcelanas feldespáticas
- b) Resistencia Moderada (300-700 MPa) → porcelanas aluminosas, IPS Empress II e IPS e.Max Press/CAD (Ivoclar)
- c) Alta Resistencia (más de 700 MPa) → cerámicas circoniosas.<sup>18</sup>

El grafeno es 200 veces más duro que el acero, casi similar a la dureza del diamante. Es decir, es un material muy resistente al desgaste y que puede soportar grandes cargas. La estética es otro factor importante en la elección de algún material cerámico restaurador. Las cerámicas libres de metal permiten la transmisión de la luz a través del diente, consiguen mayor

mimetismo, son translúcidos pero aunque dejan pasar la luz, no dejan ver nítidamente los objetos a través de él. El grafeno sólo deja pasar 2.3% de luz, lo que lo hace ser un material casi transparente y permite ver los objetos con nitidez a través de él. Los sistemas cerámicos se pueden clasificar en dos grupos en función de su comportamiento estético: translúcidos y opacos (fig. 15).<sup>1, 18</sup>

<b>Translúcidas</b>	<b>Opacas</b>
Finesse	In-Ceram Alumina
Fortress	In-Ceram Zirconia
Optec-HSP	Procera AllCeram
IPS Empress I	Procera Zirconia
IPS Empress II	IPS e.max ZirCAD
IPS e.max CAD	Cercon
IPS e.max Press	DC-Zirkon
In-Ceram Spinel	Lava
	In-Ceram YZ

Fig. 15 Cerámicas clasificadas como translúcidas y opacas.

### 2.2.1 Circonio

Estas cerámicas están compuestas por óxido de circonio altamente sinterizado (95%), estabilizado parcialmente con óxido de itrio (5%). Presentan una resistencia a la flexión entre 1000 y 1500 MPa, superando con un amplio margen al resto de porcelanas.

Éstas excelentes características físicas han convertido a éstos sistemas en los candidatos idóneos para elaborar prótesis cerámicas en zonas de alto compromiso mecánico.

Éstas cerámicas son muy opacas es por ello que sólo se usa para fabricar el núcleo de la restauración, es decir, deben recubrirse con porcelanas

convencionales para lograr una buena estética.<sup>18</sup> Fig. 16



Fig. 16 Núcleo de circonio de prótesis fija de 4 unidades (A), que posteriormente es recubierta de porcelana (B).<sup>19</sup>

El circonio no está exenta de problemas, entre ellos podemos mencionar la degradación espontánea (la cual está relacionada con la transformación hidrotérmica a la que es expuesta al momento de su transformación de óxido de circonio a circonio puro) y el estrés derivado del proceso de fabricación. Su baja conductividad térmica hace que por lo general no exista ningún tipo de sensibilidad a los cambios térmicos, y algunos estudios muestran fallas relacionadas con fracturas de la cerámica feldespática de recubrimiento. Además es un metal pesado con una densidad de  $6,511 \text{ kg/m}^3$ .<sup>20, 21</sup>

El grafeno es un material translúcido que imita la estética natural de los dientes, al igual que permite obtener colores opacos para evitar transparencias de muñones muy oscuros o pernos metálicos que pudiesen estar involucrados en el sector anterior.

La densidad del material es baja ( $0.18 \text{ mg/cm}^3$ ), siendo ideal para realizar prótesis ligeras y pueden elaborarse prótesis de más de 4 unidades elaboradas con grafeno (fig. 17).<sup>1</sup>



Fig. 17 Prótesis fijas elaboradas con grafeno.

## 2.2.2 Cerámicas feldespáticas

Las actuales cerámicas feldespáticas constan de un magma de feldespato en el que está disperso cuarzo y caolín. El feldespato al descomponerse en vidrio es el responsable de que la porcelana sea translúcida. Al tratarse de vidrios poseen grandes propiedades ópticas que permiten buenos resultados estéticos, pero al mismo tiempo son frágiles. Por ese motivo éstas porcelanas se usan principalmente para recubrir estructuras metálicas o de circonio. Debido a la demanda de tener un material estético libre de metal, surgieron porcelanas feldespáticas de alta resistencia, que poseen un alto contenido de feldespatos y otros determinados elementos que aumentan su resistencia mecánica (tabla 5).<sup>18</sup>

Tabla 5. Principales cerámicas feldespáticas.

<b>Optec-HSP® (Jeneric), Fortress® (Myron Int), Finesse® AllCeramic (Dentsply) e IPS Empress® I (Ivoclar)</b>	Su resistencia es debido a la dispersión de microcristales de leucita repartidos en la matriz vítrea. La leucita refuerza la cerámica porque sus partículas al enfriarse sufren una reducción volumétrica que genera unas tensiones residuales que son las responsables de contrarrestar la propagación de grietas.
<b>IPS Empress® II (Ivoclar)</b>	Consta de una cerámica feldespática reforzada con disilicato de litio y ortofosfato de litio, que mejoran la resistencia pero también aumenta la opacidad de la masa cerámica. Es por eso que con este material solamente se puede realizar la estructura interna de la restauración. Para conseguir un buen resultado estético, es necesario recubrir este núcleo con una porcelana feldespática convencional.

Continúa...

**IPS e.max® Press/CAD (Ivoclar)**

Están reforzadas solamente con cristales de disilicato de litio y ofrecen una resistencia a la fractura mayor que Empress® II debido a una mayor homogeneidad de la fase cristalina. Al igual sobre estas cerámicas se aplica una porcelana feldespática convencional para realizar el recubrimiento estético.

Después de todo las cerámicas feldespáticas representan un sistema de cerámica sin metal con grandes propiedades estéticas y actualmente existen sistemas que ofrecen mejoras en su resistencia, pero desafortunadamente sólo se pueden elaborar estructuras internas de restauraciones que posteriormente son recubiertas con porcelana convencional y que debido a su baja resistencia puede llegar a presentar fracturas, además de estar contraindicado en prótesis fija de más de 4 unidades, problemas que con prótesis elaboradas a base de grafeno se pueden solucionar.<sup>22</sup> Fig. 18

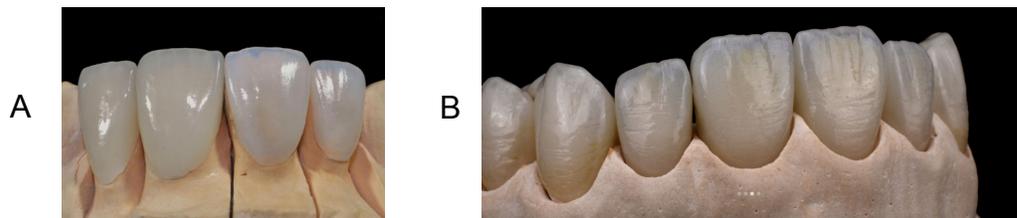


Fig. 18 Prótesis fija en el sector anterior de disilicato de litio (A), y prótesis fija en el sector anterior de grafeno.<sup>1, 23</sup>

### 2.2.3 Metal porcelana

Las coronas metal porcelana son restauraciones constituidas por una cofia interna de metal sobre la que se aplica la cerámica. En este tipo de restauraciones se aúnan la resistencia y la estética. La resistencia la proporciona el metal que permite mayor soporte frente a cargas o traumas oclusales; los más comúnmente usados son oro, níquel, cobalto, cromo, aluminio, titanio, hierro, paladio, platino, plata, osmio, cobre, cinc, indio, berilio, estaño y cobre. La estética la proporciona la porcelana. Una de las complicaciones técnicas que se observa en las restauraciones metal porcelana es la fractura dentro de la propia cerámica de recubrimiento. Estudios clínicos actuales revelan incrementos en las fracturas de recubrimiento de entre un 4-10% después de 10 años. El origen de las fracturas en la porcelana de recubrimiento es desconocido e hipotéticamente puede estar asociado al fracaso cohesivo entre el material de recubrimiento y la subestructura de metal.<sup>24</sup>

Al momento de elección del sistema cerámico ideal para confeccionar restauraciones en el sector anterior, hay que tener en cuenta el color del sustrato, por lo que no es muy recomendable estéticamente tener como primera opción rehabilitar con coronas metal porcelana.<sup>21</sup> Fig. 19



Fig. 19 Coronas metal porcelana en el sector anterior.<sup>25</sup>

Se puede tener como primera opción la rehabilitación en sectores anteriores con prótesis de grafeno, ya que en conjunto proporcionan resistencia y estética en un rango mucho mayor que las elaboradas con metal porcelana.

Fig. 20

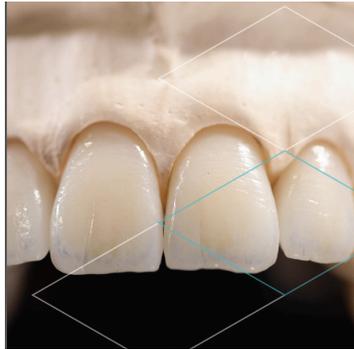


Fig. 20 Coronas de grafeno en el sector anterior. <sup>1</sup>

### 2.3 Cementos de ionómero de vidrio con grafeno fluorado

Los cementos de ionómero de vidrio tienen un amplio uso en la odontología como material restaurador debido a su adhesión química directa a la estructura dental y a los metales, tiene un coeficiente favorable de expansión térmica, libera iones de flúor y su citotoxicidad es baja. Sus aplicaciones clínicas incluyen la restauración de dientes deciduos, de dientes anteriores clase III y V de Black, cementación de prótesis fija, coronas de acero cromo y aparatos de ortodoncia, entre otros. Sin embargo presenta algunas desventajas que limitan en ocasiones su aplicación clínica en odontología, sobre todo en áreas de dientes posteriores debido a su alta fragilidad y su baja resistencia al desgaste. El grafeno fluorado (GF), es un derivado del grafeno de una molécula de espesor. Las propiedades del GF son más bajas que las del grafeno prístino pero aún más altas que los de otros materiales como el acero estructural. El GF puede ser beneficioso para reforzar los cementos de ionómero de vidrio y mejorar su uso como material dental. <sup>26</sup>

En un estudio de Sun se analizaron las propiedades mecánicas, antibacterianas y la resistencia al desgaste del ionómero de vidrio adicionado con grafeno fluorado (GF) en distintos porcentajes (0.5%, 1%, 2% y 4%). Ésta mezcla provocó un aumento en la dureza de Vickers, en la resistencia a la compresión y disminuyó el coeficiente de fricción en comparación con ionómeros no reforzados con GF, todo esto sin modificar las propiedades del cemento, incluyendo el color. Al mismo tiempo se observó una disminución en el número de colonias de *Streptococcus aureus* y *Streptococcus mutans* (fig. 21).<sup>8</sup>

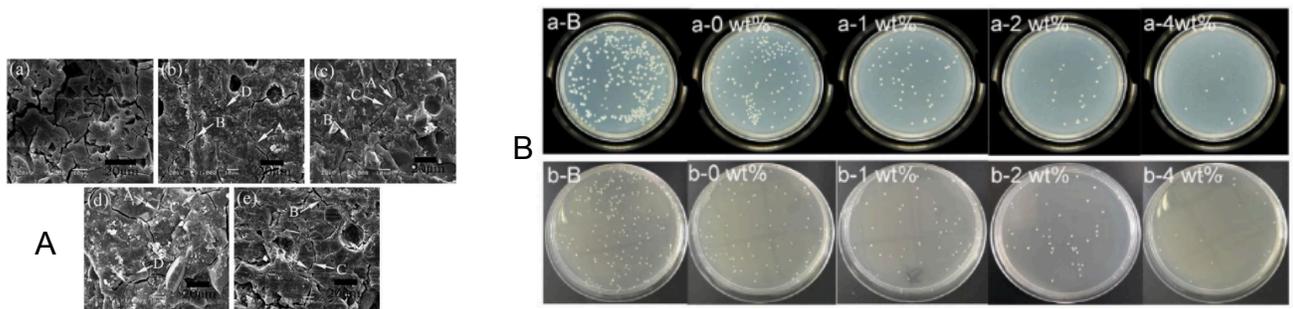


Fig. 21 A Superficies fracturadas de lcompuestos de ionómeros reforzados después de la prueba de resistencia a la compresión con concentración de FG de (a) 0%, (b) 0.5%, (c) 1%, (d) 2%, (e) 4%, respectivamente. B Colonias de *S. mutans* (serie a) y *S. aureus* (serie b) en agar del grupo en blanco (B), ionómero de vidrios con GF al 0%, 1%, 2% y 4%, respectivamente.



---

## CAPÍTULO 3 APLICACIONES DEL GRAFENO EN IMPLANTOLOGÍA

Recientemente, investigaciones biomédicas han comenzado a explotar las grandes propiedades únicas del grafeno, abriendo vías de investigación en biomateriales a base de grafeno para aplicarlos en implantes dentales, en ingeniería de tejidos y medicina regenerativa. Se han realizado estudios para examinar el efecto del grafeno sobre las propiedades mecánicas de un implante, para poder prevenir fallas mecánicas después de la implantación. Un desafío importante en el diseño de implantes, es la formación de biopelícula en la superficie de un implante. Para evitar esto, investigadores han intentado recubrir la superficie de implantes con grafeno para lograr un efecto antibacteriano, en los que se ha observado una disminución en la deposición de *Streptococcus mutans*. La osteointegración del cuerpo del implante puede ser uno de los temas más importantes en los implantes dentales. En estudios recientes se ha demostrado que el grafeno y sus derivados (GO y rGO) pueden proporcionar excelentes estrategias de recubrimiento en los implantes para mejorar la osteointegración.<sup>27</sup>

### 3.1 Implantes dentales

Los implantes dentales aparecieron por primera vez en 1930. Branemark en 1960 los introdujo y desde esa fecha hasta ahora los implantes orales se han convertido en un tratamiento fiable para el reemplazo de dientes perdidos.<sup>28, 29</sup>

En implantología dental se usan exclusivamente biomateriales como polímeros, metales y cerámicas, o sus combinaciones. Los que presentan mayor biocompatibilidad son el óxido de aluminio, de circonio y de fosfato cálcico.<sup>30</sup>



Las propiedades físicas y químicas de los materiales con que están elaborados los implantes, son factores que contribuyen en un buen resultado clínico de un tratamiento con implantes. Algunas de éstas propiedades son la microestructura del implante, su composición superficial, características y su diseño.<sup>29</sup>

### 3.1.1 Implantes de titanio

Los metales y sus aleaciones son la clase de biomateriales más comunes en la fabricación de implantes dentales. El estándar de oro en implantología es el titanio (Ti). Ésto está respaldado por sus favorables resultados clínicos a mediano y largo plazo. Su alto éxito se atribuye a una capa de 3 a 10 nm de espesor compuesta de óxido nativo que se forma en la superficie del implante y que es resistente a la corrosión.<sup>28, 30</sup>

Las aleaciones de Ti de interés en odontología existen en 3 formas: alfa, beta y alfa-beta. Ésta última (alfa-beta) es la más utilizada para la fabricación de implantes dentales, la cual consiste en 6% de aluminio y 4% de vanadio. El tratamiento térmico de éstas aleaciones generan precipitaciones finas que mejoran sus propiedades mecánicas y físicas, presentan una densidad baja y son altamente resistentes a la fatiga y a la corrosión. Son muy rígidos pero su módulo de elasticidad está cerca de los parámetros del tejido óseo dando como resultado una distribución del estrés más favorable entre el hueso y el implante. La fractura de los implantes de Ti es poco común, con una incidencia que varía de 0-6%. Las tres posibles causas de alguna fractura pueden ser:

- Diseño del implante.
- Defectos de fabricación.

- Sobrecarga fisiológica y biomecánica. <sup>29</sup> Fig. 22



Fig. 22 Implantes dentales de titanio. <sup>31</sup>

### 3.1.2 Implantes de circonio

Con el desarrollo de los biomateriales y las crecientes demandas estéticas, la cerámica para la aplicación dental ha tenido gran interés. La cerámica por primera vez se introdujo a la implantología en forma de recubrimientos sobre implantes para mejorar la osteointegración, tales como fosfatos de calcio, óxido de aluminio y óxido de circonio. Se ha demostrado que éstos recubrimientos mejoran la aposición ósea en comparación con superficies cerámicas y metálicas más inertes. El circonio es una de las cerámicas que tiene excelentes propiedades mecánicas. El óxido de circonio estabilizado con ytrio (Y-TZP), tiene propiedades mecánicas mejoradas, ideales para la fabricación de implantes dentales. El Y-TZP presenta una resistencia superior a la corrosión y al desgaste, así como alta resistencia a la flexión (800-1000 MPa) en comparación con otras cerámicas dentales. Estudios en el campo de los biomateriales determinan que el mecanismo físico de falla del implante cerámico puede ser de naturaleza química o mecánica. La falla mecánica puede ocurrir durante la cirugía o en la posterior carga funcional. A diferencia de los implantes de Ti, los defectos creados durante la fabricación de implantes cerámicos y su posterior tratamiento superficial puede comprometer su resistencia. <sup>29</sup>

Los implantes y pilares de circonio proporcionan una buena interfaz del tejido blando periimplantario. Investigaciones in vitro revelaron que los tejidos blandos alrededor de circonio tienen mejores respuestas de cicatrización, menor grado de inflamación y al mismo tiempo una gran disminución en la adhesión de placa bacteriana, todo esto en comparación con implantes de Ti.<sup>29</sup> Fig. 23



Fig. 23 Implante dental de circonio.<sup>31</sup>

### 3.1.3 Tratamientos superficiales

Actualmente, los fabricantes han empezado a aplicar la bioingeniería para diseñar superficies implantarias, con el fin de lograr mejoras en la adhesión, proliferación y diferenciación celular sobre las superficies de los implantes. Las superficies de los implantes pueden ser de 2 tipos:

#### I. Superficies lisas

Presentan aspecto macroscópico liso y brillante y en su aspecto microscópico tienen circunferencias paralelas entre sí y perpendiculares al eje largo de los implantes, diseño fundamental para la osteointegración.

#### II. Superficies texturizadas

Son superficies con cualquier tratamiento que haya modificado la estructura superficial de un implante metálico.



Las superficies texturizadas a su vez pueden clasificarse según se les aplique un tratamiento topográfico o de composición química en la superficie como:

- *Superficies texturizadas por sustracción*

Se producen por la sustracción física, química o ambas de partículas metálicas de la superficie del implante. El diseño resultante presenta flancos puntiagudos. Los tratamientos que se les aplican son:

- a. Tratamiento ácido: es el desprendimiento de partículas metálicas en la superficies de los implantes por inmersión en ácido fluorhídrico, sulfúrico o clorhídrico.
- b. Tratamiento con chorro de partículas o arenado: consiste en esparcir partículas de materiales como óxido de aluminio, sílice, de Ti e hidroxiapatita sobre las superficies de los implantes.
- c. Tratamiento con chorro de partículas y tratamiento ácido: tiene el objetivo de obtener macrorretenciones con el arenado y microrretenciones mediante ataque ácido.
- d. Tratamiento con rayos láser: crea rugosidades con profundidad, tamaño, dirección y orientación controlados.



- *Superficies texturizadas por adición*

Se producen en superficies sinterizadas por la adición de materiales, producidos cuando las partículas esféricas del polvo del metal o cerámica forman una masa cohesiva con el núcleo metálico del cuerpo del implante. Su diseño resultante son poros. Los tratamientos que se les aplican son:

- a. Tratamiento con plasma spray de Ti o de hidroxiapatita (HA): a altas temperaturas las finas partículas de Ti y de HA son fundidas y propulsadas mediante un gas ionizado. Ésta técnica es una de las más utilizadas para recubrir implantes metálicos, aumentando la biocompatibilidad y la durabilidad del revestimiento.
- b. Tratamiento con oxidación anódica: es un método electroquímico usado para preparar superficies porosas.
- c. Tratamiento de deposición asistida por haz iónico: es un recubrimiento mediante bombardeo de haz de iones en un blanco, generalmente HA.

El incremento de rugosidades en las superficies implantarias mejora la biomecánica del implante con el tejido óseo. Éstos mecanismos producen un acoplamiento mecánico con el hueso y un efecto biológico directamente sobre las células y su metabolismo. <sup>30</sup>



### 3.2 Implantes dentales recubiertos con grafeno

Gracias a su alto éxito, la rehabilitación con implantes es un tratamiento confiable para reemplazar dientes perdidos o ausentes. Las propiedades de las superficies de los implantes como la hidrofilia y su rugosidad, juegan un papel importante en la unión implante-tejido, ya que éstos pueden afectar la unión celular, proteica y la hidrofilia de la superficie.<sup>32</sup>

Los nanomateriales a base de carbón han sido explorados como alternativas para diversas aplicaciones biomédicas como en la ingeniería de tejidos. El grafeno y sus excelentes propiedades presentan un gran potencial biomédicamente, y se sabe que puede acelerar el crecimiento, proliferación y diferenciación de células madre. Las aplicaciones biomédicas del grafeno, en especial en la ingeniería de tejidos, tiene un enfoque en la modificación de las superficies de implantes dentales con nanomateriales como el grafeno, convirtiéndolo en un competidor para diseñar las superficies de biomateriales.<sup>9, 28</sup>

La gran área de superficie disponible en el grafeno ayuda a que hayan buenas interacciones biológicas. La superficie hidrofílica en GO y rGO es propicia para una mejor biocompatibilidad, proliferación y aumento de la adhesión celular. GO tiene el potencial como andamio para promover la diferenciación espontánea de células madre hacia el hueso y así lograr una mayor adhesión de osteoblastos y mineralización de apatita.<sup>9</sup>

El Ti es el metal más utilizado en la colocación de implantes dentales debido a su gran biocompatibilidad, su resistencia a la corrosión, tenacidad y baja rigidez. Recientemente el grafeno se ha utilizado como recubrimiento de implantes, para tratar de maximizar la unión entre el hueso y el implante. Existen 2 métodos para transferir grafeno a la superficie de Ti: húmedo y



seco. La transferencia húmeda es la más utilizada pero puede provocar que entre el implante y la película de grafeno quede atrapada agua que después de evaporarse crea pliegues y áreas agrietadas. Para solucionar éste problema, se desarrollo la transferencia en seco.<sup>28</sup>

### 3.2.1 Efecto osteogénico

Estudios in vitro han evaluado los efectos en los implantes de Ti recubiertos con grafeno en la adhesión, proliferación y diferenciación osteogénica. Se han hecho cultivos de fibroblastos gingivales humanos (hGF), células madre de tejido adiposo humano (hASC) y células mesenquimatosas de médula ósea humana (hBMMS), en muestras de grafeno, provocando un aumento en la adhesión de hASC y hBMMS al sustrato. Los recubrimientos de grafeno a implantes de Ti pueden fomentar la diferenciación osteogénica de hASC y hBMMS. También se ha investigado el potencial osteogénico en recubrimientos de grafeno en Ti puro, transferido en métodos húmedo y seco. En ambos aumentaron todos los genes relacionados con osteogénesis, el gen osteocalcina y la expresión proteica.<sup>8</sup>

En un estudio elaborado por Qi Zhou se evaluó in vitro la bioactividad de las células madre del ligamento periodontal humano (PDLSC) en sustratos de Ti recubierto con GO (GO-Ti) en comparación con sustratos de Ti de sodio (Na-Ti). Se confirmó que las PDLSC en sustratos de GO-Ti proliferan a mayor velocidad que las de Na-Ti. Sugirieron que la combinación de GO y PDLSC puede ser un hallazgo prometedor para la odontología regenerativa, ya que puede hacer crecer más células madre pluripotentes, lo que puede facilitar la regeneración de tejido óseo o periodontal.



Las PDLSC tienen potencial para formar hueso en superficies de Ti, mediante la expresión de proteínas relacionadas con la formación de tejido óseo. Las PDLSC se usan como alternativa a las hBMMSC para determinar el potencial osteogénico y la osteointegración en implantes de Ti. El autor La, informó que los sustratos de Ti recubiertos con GO que transportan la proteína morfogenética ósea 2 (BMP-2) pueden regular la diferenciación en la osteogénesis de hBMMSC en comparación con sustratos de Ti BMP-2 sin GO.<sup>32</sup>

### **3.2.2 Efecto antibacterial**

La biopelícula oral juegan un papel crucial en el desarrollo de caries dental y de enfermedad periodontal, siendo *Streptococcus mutans* uno de los principales agentes etiológicos en éstos problemas. Las superficies de los implantes pueden ser colonizadas por bacterias que posteriormente pueden inflamar de los tejidos periimplantarios. Ésta inflamación puede provocar falla biológica y progresiva pérdida ósea. El uso de nanocompuestos a base de grafeno como agentes antimicrobianos ha tenido un gran interés en el campo de la nanomedicina. Los nanomateriales basados en carbono tiene efectos antimicrobianos, propiedad que puede ser explotada en implantología. Los recubrimientos de grafeno pueden reducir la cantidad de bacterias y la formación de biopelícula en las superficies de los implantes.<sup>8, 33</sup>

Estudios in vitro sobre la toxicidad y biocompatibilidad de nanomateriales de grafeno con algunas células, demostraron que el grafeno inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos como *Streptococcus mutans*, *Porphyromonas gingivalis* y *Fusobacterium nucleatum*.<sup>28</sup>



En un estudio elaborado por Kulshrestha se evaluó el potencial de nanocompuestos de grafeno con óxido de zinc (GZNC) contra las propiedades cariogénicas de *Streptococcus mutans*. El estudio indicó que GZNC puede ser un agente antibacteriano efectivo contra *Streptococcus mutans*, y que tiene potencial como agente de recubrimiento efectivo para implantes al inhibir eficazmente microorganismos patógenos.<sup>33</sup>



---

## CONCLUSIONES

En los últimos años, la nanotecnología y los nanomateriales como el grafeno y sus derivados han despertado gran interés en el campo biomédico y odontológico debido a sus grandes propiedades, sin embargo, por el corto periodo desde su descubrimiento, solamente en los últimos años se tienen reportados sus usos médicos.

Para poder considerar al grafeno como un buen candidato para aplicaciones biomédicas, hay que conocer y entender las interacciones que tiene con los demás materiales, incluso con células del cuerpo humano.

Los estudios que han evaluado el efecto osteogénico y antibacterial del grafeno han dado resultados prometedores para una amplia gama de aplicaciones en odontología, y sus beneficios pueden ser de gran utilidad en tratamientos dentales como en prótesis dental e implantología.

Toda la explotación que ha tenido el grafeno por su notable potencial para aplicarlo biomédicamente ha abierto camino para futuros estudios. Es claro que los materiales a base de grafeno pueden considerarse como un biomaterial ideal para aplicarlo en odontología, pero es necesario realizar más estudios a fondo para seguir explorando y confirmar aún más el beneficio a largo plazo de materiales basados en grafeno pero en un escenario clínico.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Graphenano Nanotechnologies. Graphenano. [Online].; 2017 [cited 2019 08 10. Available from: <https://www.graphenano.com/que-es-el-grafeno/>.
2. Rodríguez. FDdC. Introducción a los nanomateriales. Lecturas de ingeniería 20. Cuautitlán Izcalli: Facultad de Estudios Superiores Suautitlán (UNAM) , Departamento de Ingeniería, Laboratorio de Tecnología de Materiales ; 2012.
3. CABRERA JI. Nobbot Tecnología para las personas. [Online].; 2017 [cited 2019 08 15. Available from: <https://www.nobbot.com/pantallas/que-hay-del-grafeno/>.
4. Lakshmi KA. The revolutionary era of Graphene in Dentistry-a review. RGUHS Med Sciences. 2016 October; 6(4).
5. Randhawa DJ. Graphene: Carbon Based Nanomaterial for Dentistry. International Journal of Engineering Technology Science and Research IJETSR. 2017 October; 4(10).
6. Anthorin. Taringa! [Online].; 2016 [cited 2019 09 7. Available from: [https://www.taringa.net/+ciencia\\_educacion/grafeno-muy-pronto-en-tu-mercado-internacional-mas-cercano\\_iy6ed](https://www.taringa.net/+ciencia_educacion/grafeno-muy-pronto-en-tu-mercado-internacional-mas-cercano_iy6ed).
8. Stefano DC. Graphene Applications in Dentistry. Journal of International Dental and Medical Research. 2019 Abril; 12(2).
7. AITEX Review. Aitex Review. [Online].; 2017 [cited 2019 08 30. Available from: <http://www.aitex.es/wp-content/uploads/2016/10/aitex56.pdf>.
9. Gunjan S Aswal B. Graphene and its derivatives : Unleashing a plethora of possibilities in Dentistry. JOMIDA. 2017 Sep; 3(1).
10. Leite PIF. "The Application Of Graphene In Removable Prosthesis". 2015. Disertación en la Facultad de Medicina Dentaria, de la Universidad de Porto.



11. Villalón AR. Grafeno: síntesis, propiedades y aplicaciones biomédicas. 2016. Trabajo fin de grado en la Facultad de Farmacia, Universidad Complutense.
12. Moya MDS. Instituto de Tecnología de Materiales. [Online].; 2011 [cited 2019 09 20. Available from: <http://enclave.cev.es/unoi/wp-content/uploads/2011/01/Recubrimientos-frente-Corrosi%C3%B3n-y-Desgaste-6-Mayo-2011.pdf>.
13. León G. Twitter. [Online].; 2015 [cited 2019 09 04. Available from: <https://twitter.com/gabotuitero/status/672150925868445697?lang=de>.
14. Wikipedia. Óxido de grafito. 2019..
15. Rodríguez RR. Grafenos procesables en fase líquida con características optimizadas mediante el control microscópico de su estructura. 2014. Tesis Doctoral.
16. The University of Manchester. [Online]. [cited 2019 09 6. Available from: <https://www.graphene.manchester.ac.uk/learn/applications/electronics/>.
18. Martínez Rus Francisco PRGSGMJRGB. Cerámicas dentales: clasificación y criterios de selección. Revista RCOE. 2007 octubre; 12(4).
17. Mercado Libre. Mercado Libre. [Online]. [cited 2019 09 10. Available from: <https://listado.mercadolibre.com.ar/reparacion-de-protesis-dentales-flexibles#!messageGeolocation>.
19. Alejandra V. Prótesis fija convencional libre de metal: tecnología CAD CAM-Zirconia, descripción de un caso clínico. Odontoestomatología. 2011 diciembre; 13(18).
20. Vilarrubí Alejandra PPRA. Prótesis fija convencional libre de metal: tecnología CAD CAM-Zirconia, descripción de un caso clínico. Odontoestomatología. 2011 noviembre; 13(18).
21. Andrés DGS. ¿Circonio, cerámica o metal-porcelana? Revisión de la literatura. Revista Ciencia. 2014 junio; 259.



22. Ivoclar Vivadent. Ivoclar Vivadent. [Online]. [cited 2019 09 20. Available from: <https://www.ivoclarvivadent.es/zoolu-website/media/document/26790/IPS+e-max+Gu%C3%ADa+Cl%C3%ADnica>.
23. DentArt Lab. DentArt Lab. [Online].; 2019 [cited 2019 09 20. Available from: <https://dentartlab.cl/servicios/libres-de-metal/e-max/>.
24. Panadero RA. Estudio comparativo in vitro del comportamiento de las cerámicas de recubrimiento según el núcleo: óxido de circonio y metal. 2012. Tesis doctoral.
25. Clinica Dental Entrevias. Clinica Dental Entrevias. [Online]. [cited 2019 09 20. Available from: <http://www.clinicadentalentrevias.es/coronas>.
26. Li Sun ZYDJZBL. Improvement of the mechanical, tribological and antibacterial properties of glass ionomer cements by fluorinated graphene. Dental Materials. 2018 Feb 12; 02(006).
28. Alina Pruna DPAS. Graphene-Based Coatings for Dental Implant Surface Modification. In Kaneko S. Carbon-related Materials in Recognition of Nobel Lectures by Prof. Akira Suzuki in ICCE.: Springer; 2017. p. 457.
27. Shradhanjali A. Graphene for Dental Implant Applications. Advances in Dentistry & Oral Health. 2017 Abril; 4(4).
29. Reham B. Osman MVS. A Critical Review of Dental Implant Materials with an Emphasis on Titanium versus Zirconia. MDPI. 2015 marzo; 8.
30. BESSONE L. Tratamientos de superficie de implantes.. RAOA. 2009 octubre/diciembre; 97(5).
31. Oral Mederi. Oral Mederi. [Online].; 2016 [cited 2019 10 8. Available from: <http://oralmederi.com/implantes-sin-metal-posible-gracias-al-zirconio/>.
32. Zhou Q. Bioactivity of periodontal ligament stem cells on sodium titanate coated with graphene oxide. Scientific Reports. 2016 Enero; 6(19343).
33. Kulshrestha S. A graphene/zinc oxide nanocomposite film protects dental



---

implant surfaces against cariogenic *Streptococcus mutans*. *Biofouling*.  
2014 Octubre; 30(10).