



# 6P

## Nanomateriales regeneradores de hueso

**Dr. José Manuel Cervantes Uc**  
**I. B. Noemí Iraís Pat Vázquez**  
**I. B. Cielo Guadalupe Poot Bote**  
**Dra. Nayeli Rodríguez Fuentes**  
**Dr. Jorge Alonso Uribe Calderón**

Unidad de Materiales  
(Laboratorio de Biomateriales,  
Laboratorio de Química Macromolecular)

### Descripción

Las y los estudiantes conocerán a los nanomateriales y su potencial aplicación en la regeneración de huesos.

Desarrollarán actividades experimentales enfocadas en la características de los huesos y algunos aspectos de la manufactura de nanomateriales aplicados para la regeneración.

### Objetivo

Conocer las características de los nanomateriales, diseñados a partir de las propiedades de los huesos y su aplicación en la regeneración ósea.



## Materia afín

- Ciencias Naturales (Los seres vivos y su diversidad/tercer semestre, UADY).
- Ciencias Naturales (La investigación en las ciencias naturales/sexta semestre, UADY).

([www.csems.uady.mx/media/MallaCurricularPrepa1y2.pdf](http://www.csems.uady.mx/media/MallaCurricularPrepa1y2.pdf))

- Módulo Universo Natural/Prepa en Línea SEP.
- Módulo Impacto de la ciencia y la tecnología/Prepa en Línea SEP.

([prepaenlinea.sep.gob.mx/wp-content/uploads/2020/03/Acuerdo090914-3.pdf](http://prepaenlinea.sep.gob.mx/wp-content/uploads/2020/03/Acuerdo090914-3.pdf))

## ¿Qué vas a aprender?

- Elementos del método científico: observación, hipótesis, experimentación y análisis.
- Trabajo grupal a distancia.
- Características de los nanomateriales y su importancia en la medicina como materiales regeneradores de hueso.
- Papel de los nanomateriales en el desarrollo de nuevas alternativas médicas inspiradas en la anatomía ósea.
- Lenguaje académico-técnico.



### Pregunta inicial

¿Pueden los nanomateriales promover la regeneración ósea?



## Panorama general del tema

Los **nanomateriales** son partículas muy pequeñas de entre 1 y 100 nm con propiedades únicas, en comparación con materiales convencionales, cuyas formas y tamaños tienen que ser determinados por **microscopios electrónicos**. En general, el tamaño promedio de los nanomateriales equivale a dividir unas 10 000 veces la longitud de un milímetro de una regla escolar (100 nm). Hoy día, estos materiales se utilizan en una enorme cantidad de aplicaciones entre las que destacan la industria farmacéutica y la medicina [1].

Por otro lado, cuando padecemos de alguna enfermedad que afecta los huesos, o bien, cuando se nos fracturan durante una caída o accidente, los médicos encargados de curarnos utilizan materiales de naturaleza tan diversa como metales, cerámicos o plásticos (**polímeros**). ¿Sabías, por ejemplo, que los doctores inyectan plásticos en las vértebras de la columna para evitar que estos huesos colapsen por la fractura y generen fuertes dolores de espalda, en las personas con osteoporosis?, o ¿que usan placas, clavos y tornillos metálicos para estabilizar un hueso fracturado?



En todos estos casos, lo que los médicos realizan al usar estos materiales (**biomateriales** es el término formal y se utiliza para referirse a todos aquellos materiales que se emplean en la medicina) es **reparar** el tejido dañado, y con esto evitar que las personas sufran de dolor, o bien mejorar la movilidad y/o calidad de vida. Aquí, conviene señalar que, si te preocupa que tus familiares tengan alguno de estos materiales dentro de su cuerpo, no tienes nada que temer, pues todos los biomateriales utilizados por los médicos han sido aprobados para su uso en humanos por un comité de expertos conformados por científicos, médicos, ingenieros, biólogos, químicos, entre otros especialistas.

Actualmente, los científicos que realizan investigación en el campo de los biomateriales no buscan reparar los órganos o tejidos dañados utilizando otros materiales, sino que se enfocan en **regenerarlos**; es decir, darle al cuerpo las condiciones y/o materiales necesarios para que él mismo vuelva a formar el órgano o tejido dañado, de la misma manera en que el cuerpo regenera células y tejidos.

Este campo del conocimiento, que podría considerarse de ciencia ficción, se conoce como **ingeniería de tejidos**. Para que el cuerpo pueda regenerar un órgano o un tejido se necesita, generalmente, de un polímero biodegradable o en el caso de regeneración, de hueso; también se utilizan partículas cerámicas en donde puedan crecer las células generadoras de hueso y se almacenen algunos compuestos químicos necesarios para el desarrollo de hueso sano [2].

Se han diseñado diversos **andamios** celulares a base de **biopolímeros** naturales y

sintéticos que han demostrado promover la regeneración de hueso esponjosos, como el caso del biomaterial mexicano **Nukbone®**, el cual ha demostrado no solo reparar defectos en los huesos, a través de su función como relleno óseo, sino que también promueve la regeneración ósea al activar mecanismos moleculares que inducen la formación de hueso nuevo, luego de una lesión [3, 4].

La ingeniería de tejidos óseos busca recrear las propiedades a macroescala y microescala, sin embargo, las estructuras a nanoescala que regulan las funciones de las células representan un gran desafío. Afortunadamente en los últimos años, los científicos han descubierto múltiples nanomateriales y técnicas para su fabricación, los cuales se están aplicando para mejorar la regeneración ósea [5, 6].

Nanomateriales como las nanopartículas de sílice mesoporosa (MSN), nanohidroxiapatita (nHA), nanopartículas de oro (NPAu), nanotubos de carbono (NTC) y óxido de grafeno (OG), se han estudiado como refuerzo de los andamios, también conocidos como **nanocompuestos** o como **vehículos para la administración de fármacos**, con el propósito de no solamente reparar los huesos dañados, sino para regenerarlos [7, 8].

Los nuevos éxitos conducen a que la aplicación de estos nanomateriales en la medicina se vuelva una realidad. No obstante como mencionan Langer y Vacanti en su reflexión más reciente sobre los avances y el estado actual de la ingeniería de tejidos, "el progreso continuará con enfoques de colaboración entre médicos, científicos e ingenieros" [9].



## Presentación

Este proyecto te guiará en la búsqueda de conocimiento sobre las características de los nanomateriales y su aplicación en la regeneración ósea.

Para ello, harás uso de diversos materiales didácticos que se han preparado para ti, y te adentrarás en el mundo de los nanomateriales regeneradores de huesos.

Durante el desarrollo de este proyecto conocerás aspectos relacionados con los andamios biomédicos y por qué se utilizan, qué es un biomaterial, nanomateriales y nanocompuestos; de igual manera, descubrirás características importantes sobre los huesos y comprenderás la diferencia entre reparación y regeneración de tejidos, entre muchos otros aspectos interesantes de la ingeniería de tejidos.

Además de ello, podrás desarrollar actividades experimentales basadas en el

método científico que te permitirán preparar andamios a base de nanomateriales con potencial aplicación a la regeneración de hueso, a la vez que refuerzas tus habilidades en la **búsqueda de información, para finalmente poder responder a la interrogante:** ¿pueden los nanomateriales promover la regeneración ósea?

Este manual ha sido redactado por académicos y estudiantes de los laboratorios de Biomateriales y Química Macromolecular de la Unidad de Materiales del CICY, y se desarrollará aplicando el método científico, implementando prácticas simples con utensilios e insumos de fácil acceso. Con todo lo anterior, las y los jóvenes podrán desarrollar, a través de actividades sencillas, un proyecto que les permitirá ampliar sus conocimientos en el campo de los materiales y la regeneración de hueso.

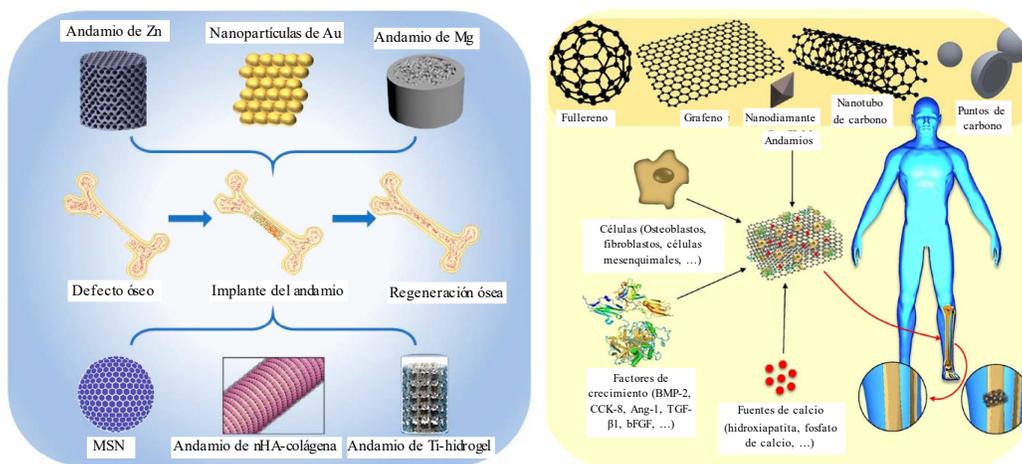


Figura 1. Tomado y modificado de: Eivazzadeh-Keihan, R., et al., Carbon based nanomaterials for tissue engineering of bone: Building new bone on small black scaffolds: A review. J Adv Res, 2019. 18: p. 185-201.

Fu, Y., et al., Novel Inorganic Nanomaterial-Based Therapy for Bone Tissue Regeneration. Nanomaterials (Basel), 2021. 11(3).



## Desarrollo



### Experimento 1. Huesos sanos, huesos fuertes (composición ósea).

Los huesos son parte fundamental del sistema musculo-esquelético, brindan protección a los órganos vitales, dan soporte para el movimiento y además, almacenan minerales como el calcio y el fósforo, los cuales ayudan a mantener los huesos sanos.

Para poder realizar las funciones de sostén y protección deben ser fuertes y flexibles. Los huesos fuertes, pero no flexibles, se volverán frágiles y se romperán con facilidad; mientras que, los huesos flexibles, pero no fuertes, no soportarían el peso del cuerpo o la tensión de los músculos que los presionan. Por tal motivo, están compuestos por una matriz inorgánica, una matriz orgánica y células óseas que forman estructuras sumamente especializadas desde escalas nanométricas y micrométricas que le otorgan a nuestros huesos una amplia capacidad de regeneración y reconstitución.

El propósito del experimento es observar los efectos de los medios ácidos y la temperatura en los huesos. Permitirá identificar los componentes óseos de manera individual, así como las propiedades que le confiere cada uno para desempeñar sus funciones de soporte y protección del cuerpo.

#### Pregunta de investigación

¿Cuáles son los componentes óseos y qué características le otorgan a los huesos sanos?

#### Actividad

Identificar los componentes óseos de manera individual, mediante la observación de los efectos de los medios ácidos y la temperatura sobre los huesos.



#### Materiales

- 4 a 8 huesos de pierna o muslo de pollo, sin carne y limpios.
- 3 frascos de plástico o de vidrio transparente con tapa (tamaño de acuerdo a la medida de los huesos. Pueden ser de mayonesa, mermelada, café, papilla. Preferible que todos sean del mismo tamaño y estén totalmente limpios y secos).
- Vinagre blanco (1 taza o lo suficiente para llenar 1 frasco).
- Bebida gaseosa (1 taza o lo suficiente para llenar 1 frasco).
- Agua (1 taza o lo suficiente para llenar 1 frasco).
- Regla o flexómetro.
- Cinta adhesiva.
- Un recipiente de 2 litros.
- 1 bandeja para hornear.
- Servilletas de papel o toallas de cocina.
- Guantes de látex.
- Guantes de cocina.
- Libreta para apuntes.
- Lápices y plumas.



## Desarrollo



ximadamente  $\frac{3}{4}$  de este. Repetir este paso añadiendo el vinagre o la bebida gaseosa en los frascos etiquetados, según corresponda.



## Huesos en medios acidos

1. Medir y seleccionar al menos 4 huesos con aproximadamente la misma forma y tamaño.

### NOTA



Es importante retirar toda la carne alrededor de los huesos, cuando realices esta actividad usa guantes de látex.

### NOTA



Los huesos deben quedar completamente cubiertos y cada frasco debe contener la misma cantidad de huesos.

2. Etiquetar los 3 frascos con cinta adhesiva y escribir "agua", "vinagre" y "bebida gaseosa" en cada uno, respectivamente.



3. Colocar uno o más huesos en cada frasco. A continuación, agregar agua al frasco con la etiqueta correspondiente, hasta llenar apro-

4. Cerrar los 3 frascos y mantenerlos sellados durante 5 días a temperatura ambiente.

5. Utilizando guantes de látex, retirar los huesos de los frascos; posteriormente, limpiarlos con agua de la llave para eliminar el exceso de líquido y secarlos con toallas de cocina o servilletas.



## Huesos a alta temperatura

1. Colocar los huesos restantes en una bandeja para hornear, después meterla en el horno y calentar a 120°C durante 3 horas.
2. Con mucho cuidado y usando un guantes de cocina, retirar del horno y dejar atemperar por al menos 15 minutos, hasta poder sostener el hueso con las manos.
3. Recolectar y ordenar los huesos de los 3 frascos, previamente secos, al igual que los huesos horneados. Sostener y manipularlos e identificar las principales diferencias entre ellos.
4. Selecciona 4 huesos con forma y tamaño similar, uno de cada frasco y uno horneado. Trata de doblar cada uno e intenta romperlos por la mitad.
5. En tu bitácora (libreta) anota tus observaciones. Escribe las características de los huesos de acuerdo al medio al que fue expuesto o a la

temperatura elevada; describe las formas, colores, texturas, dureza, flexibilidad, etcétera, al comparar los diferentes huesos. Puedes tomar fotografías con tu celular de aquellos que más te sorprendan.



### Lo que debes saber



Los huesos están compuestos por una matriz inorgánica, una matriz orgánica y células óseas. La matriz inorgánica contiene cationes calcio y magnesio, así como aniones fosfato, en forma de **hidroxiapatita**; la dureza del hueso se debe a las sales de calcio, que forman parte fundamental de su estructura. La matriz orgánica, también denominada **osteóide**, está constituida en su

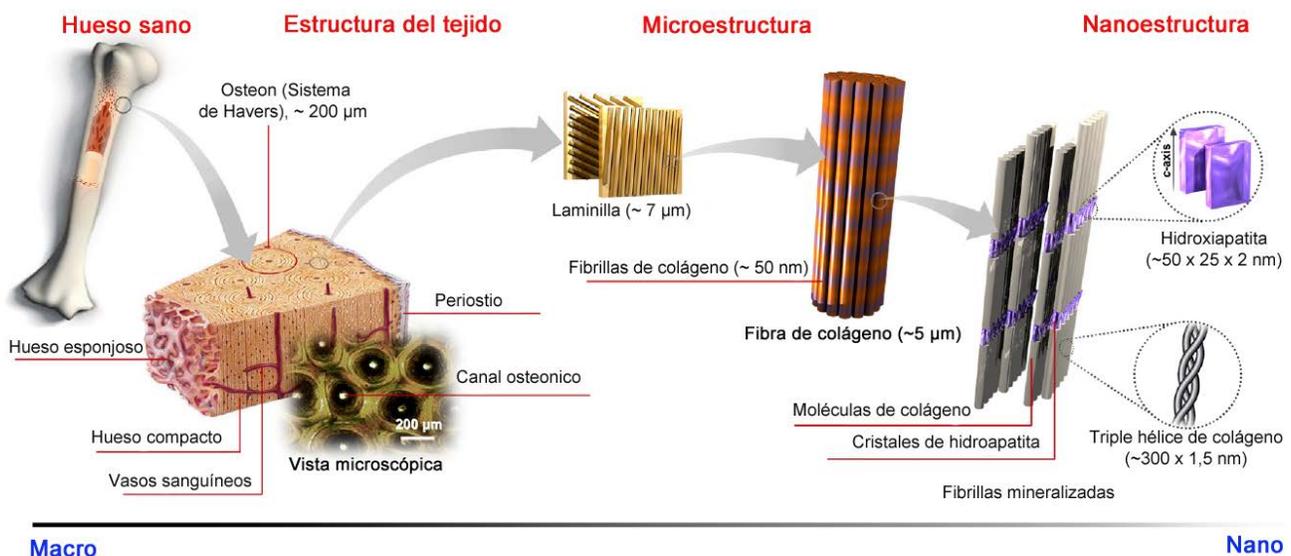
mayoría de **colágena** (94 %), responsable del grado de firmeza y elasticidad de estas estructuras; la otra parte, por **sustancia fundamental** [10]. Todos los días, nuestro cuerpo reemplaza las células viejas en el hueso y fabrica tejido nuevo en su lugar. Estos diferentes tipos de células se encargan realizar el remodelado óseo (osteoclastos), mantiene la **homeostasis** ósea (osteocitos) y produce hueso nuevo (osteoblastos) [11].



Los huesos almacenan calcio, un mineral que se puede liberar en el torrente sanguíneo cuando es necesario en otras partes del cuerpo. La cantidad de vitaminas y minerales que ingieres frecuentemente, sobre todo la vitamina D y el calcio, al igual que hacer ejercicio y tener hábitos saludables, ayudan a mantener los huesos sanos [12].

Cuando el tejido óseo se ve afectado por diversas enfermedades como fracturas

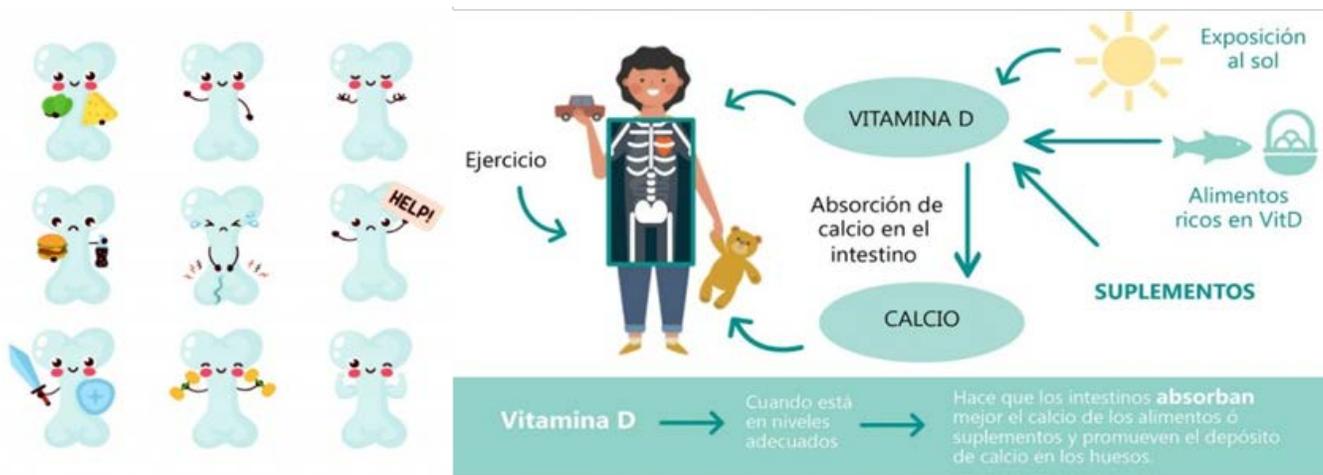
óseas no unidas, osteoartritis, osteoporosis, cáncer y tumores óseos, usualmente es necesario utilizar biomateriales especialmente diseñados para mantener la estructura, propiedades mecánicas, alta porosidad (> 90%) y a su vez permitir el crecimiento y la supervivencia de las células óseas [2]. La incorporación de nanomateriales para enfrentar las enfermedades óseas ha mejorado, no únicamente la reparación sino también la regeneración ósea [5-8].



**Figura 2.** Estructura del hueso a diferentes escalas. Tomado de <https://mnapp-medinuclear.blogspot.com/p/estudios.html>

### Para terminar

- Intenta romper los huesos. ¿Qué ocurre con cada uno?
- ¿Existen diferencias entre los huesos sumergidos en agua, vinagre y gaseosa?
- ¿Qué cambios observas entre el hueso calentado en el horno y los que fueron contenidos en líquidos?
- ¿El hueso sumergido en gaseosa tiene características similares con los otros huesos? ¿A qué se debe esto?
- Relacione los componentes óseos con las características de los huesos. ¿Cuál es más elástico? ¿Cuál es más rígido?
- ¿Qué propiedades necesita un hueso sano?
- Después de realizar la practica, ¿qué opinas de la frase "eres lo que comes"?
- Escribe en el reporte del día.



**Figura 3.** Huesos sanos.

Tomado de <https://alimentaelfuturo.com/es/2020/01/huesos-fuertes-y-sanos-para-toda-la-vida-con-vitamina-d/infografia-vitamina-d-espanol/> y de [https://www.freepik.es/vector-premium/coleccion-conjunto-caracteres-hueso-saludable-saludable-feliz-enfermo-triste-lindo-concepto-personaje-huesos\\_6105873.htm](https://www.freepik.es/vector-premium/coleccion-conjunto-caracteres-hueso-saludable-saludable-feliz-enfermo-triste-lindo-concepto-personaje-huesos_6105873.htm)



## Experimento 2. Unidos somos más fuertes (materiales compuestos).

Los **materiales compuestos** están formados por uno o más componentes donde las propiedades finales del material serán superiores que las que los componen individualmente. Presentan una matriz y un refuerzo, donde estos últimos pueden ser **nanomateriales**, para mejorar propiedades mecánicas como la rigidez y la resistencia.

En defectos óseos, la **reparación** es efectiva en lesiones menores, en las cuales tiene lugar el proceso de cicatrización que no reproduce totalmente la arquitectura o función del tejido perdido o destruido, dando lugar a un tejido fibroso, el cual posteriormente será remplazado por uno sano a través de los procesos de remodelación ósea.

El objetivo de este experimento es observar el reforzamiento de una matriz polimérica cuando se incorporan **nanomateriales** simulados con elementos que se encuentran en casa.

### Pregunta de investigación

¿Para qué nos pueden servir el reforzamiento de un material?

### Actividad

Hacer mezclas con distintos materiales, simulando nanomateriales como reforzamiento.



### Materiales

- ◇ Una taza de fécula de maíz (Maizena).
- ◇ Pegamento blanco.
- ◇ Jugo de un limón.
- ◇ Una cucharadita de aceite de cocina.
- ◇ Un puñito de pimienta.
- ◇ Un puñito de bolitas de unicel.
- ◇ Un puñito de trocitos de espagueti crudo.



- ◇ Una taza de agua.
- ◇ 4 recipientes pequeños de plástico para hacer las mezclas.



### Desarrollo

1. Verter en el recipiente de plástico, una taza de fécula de maíz (Maizena).
2. Agregar  $\frac{3}{4}$  de taza de pegamento blanco a la fécula de maíz.
3. Añadir a la mezcla una cucharada de jugo de limón y una de aceite. Revolver suavemente y cuando sea imposible hacerlo, usar las manos para terminar de amasarla.



### NOTA



Si la mezcla se torna muy líquida, añade más fécula de maíz; si esta se pone dura, añade un poco más de pegamento blanco.

4. Cuando la masa final esté lista, déjala reposar por unos 5 minutos.
5. Posteriormente, separa 4 porciones.

Una de ellas no tendrá refuerzo, una de ellas se mezclará con pimienta, la siguiente con los trocitos de espagueti; finalmente la última, con las bolitas de unicel. Harás una especie de tortitas aplanadas.

6. Dejar reposar las masas mezcladas.

Finalmente observarás cuál de ellas es la que se ha formado con mayor rapidez y la que ha presentado mayor compactibilidad y resistencia. De igual manera, indentificarás cuál de ellas no presentó las características antes mencionadas.





## Lo que debes saber



La **Ingeniería de Tejidos** (IT) tiene como objetivo la generación de soportes celulares o **andamios** a partir de **biomateriales**, que son frecuentemente complementados por la adición y/o inserción de **biomoléculas** activas, como factores de crecimiento, fármacos, entre otras, con la finalidad de potencializar su uso en el tejido destinado a su implantación [13-15].

Los biomateriales que se utilizan para la reparación/restauración del hueso en específico, se pueden clasificar en metales, cerámicos, polímeros y **materiales compuestos** (combinación de plásticos con partículas o fibras de otros de diferente naturaleza) [16-18].

En algunas ocasiones, los plásticos son mezclados con otro tipo de materiales (como por ejemplo con partículas de sulfato de bario, óxido de zirconio, etcétera), dando lugar a materiales compuestos que se usan para estabilizar vértebras fracturadas en peligro de colapso, ayudando de esta manera a mejorar la calidad de vida de las personas [16-18].

El proceso de reparación, hace referencia al proceso de compensación del daño en cuestión. Como cuando un diente tiene caries, que al eliminarse y dejar una cavidad, esta se rellena con una resina o aleación metálica que hará que el diente cumpla su función, de tal manera que podremos comer una manzana o un dulce de algodón sin sufrir algún daño. Sin embargo, a lo largo del tiempo ese material se irá desgastando y deberá ser sustituido nuevamente [16-18].

## Para terminar

1. Observa lo que ocurre una vez que se ha realizado la actividad experimental.
2. Oprime con tus dedos o tu mano cada uno de los materiales que has realizado y observa, ¿cuál se deforma más al impacto de la presión que ejerces con tu dedo o mano?
3. ¿Qué diferencias observas en cuanto a la deformación que sufren estos materiales al presionarlos? ¿La incorporación de fibras (palitos de espagueti), esferas porosas (bolitas de unicel) y de pimienta (micropartículas) afectó la deformación?
4. Analiza los resultados obtenidos y genera tus conclusiones.
5. Escribe en el reporte del día.



### Experimento 3. Reparación vs regeneración de huesos.

Cuando una lesión presenta pérdida importante de hueso, lo ideal es buscar la regeneración ósea, la cual frecuentemente consiste en la aplicación quirúrgica de un andamio biocompatible y reabsorbible que rellene el defecto óseo, pero que además, active los procesos de **osteogénesis**, que hace referencia a la síntesis de hueso nuevo a partir de células residentes del andamio o del tejido huésped; así como la **osteoinducción**, que detona el reclutamiento y activación de las **células troncales mesenquimales** en la zona receptora y a su alrededor para diferenciarse en osteoblastos.

En este experimento, se podrá comprender los procesos de reparación y regeneración ósea, a través de remediar lesiones óseas en hueso pequeños usando andamios reforzados con nanomateriales. Para ello elaborarás andamios de gelatina con diversas partículas pequeñas que simularán el efecto de los **nanomateriales** que se emplean para la reparación y regeneración ósea.

#### Pregunta de investigación

¿Cuál es la función de un andamio?

#### Actividad

- preparación de andamios simulados para defectos óseos.



#### Materiales:

- 1 sobre de gelatina a base agua.
- Diamantina.
- 250 ml de agua.
- Arena.
- Una cuchara metálica.
- 3 recipientes pequeños.
- 3 huesos de pierna o muslo de pollo, sin carne y limpios, o un hueso de pollo de unisel.
- Fuente de calentamiento (estufa o fogata).



#### Desarrollo

1. Poner a hervir 250 ml de agua en un recipiente metálico; cuando esté hirviendo, retirar del fuego y adicionar una cuarta parte del sobre de gelatina de agua.
2. Agitar con una cuchara metálica hasta que se disuelva todo el polvo de gelatina.
3. Dividir la mezcla de gelatina en tres partes iguales, utilizando recipientes de vidrio.

#### NOTA

Etiquetar los recipientes como 1, 2 y 3.



4. Adicionar al recipiente 1 una pizca de diamantina del color de tu preferencia; al recipiente 2, adicionar una pizca de arena; y al recipiente 3, no se le adicionará nada.



5. Agitar cada mezcla con una cuchara metálica y verterla en moldes rectangulares para permitir que la gelatina se solidifique.
6. Incubar los moldes a temperatura ambiente por 10 minutos.
7. Refrigerar por 30 minutos para conseguir la completa solidificación de la gelatina.
8. Con ayuda de un martillo, romper 3 huesos de pollo previamente limpios y sin residuos de tejido.
9. Reparar los daños que haya ocasionado el martillo a los huesos, con las gelatinas elaboradas en el paso 4.



### NOTA

puedes recortar figuras de las gelatinas e intentar cubrir los defectos ocasionados por el golpe del martillo. En caso de que el hueso se separe, intenta unirlo con apoyo de los materiales que acabas de elaborar.

### IMPORTANTE

Si quieres visualizar el proceso de preparación de la gelatina, puedes consultar este vídeo: [www.youtube.com/watch?v=dv-zbxavPms](http://www.youtube.com/watch?v=dv-zbxavPms).

### Lo que debes saber:



La generación de soportes celulares o **andamios** a partir de **biomateriales**, deben proporcionar un marco y soporte inicial para la **adhesión, proliferación y diferenciación** de las células que residirán sobre el material que se forma a partir de dos o más componentes.

Se han empleado múltiples **nanomateriales** en la medicina regenerativa. Los nanomateriales son materiales especialmente sintetizados para tener al menos una dimensión entre 0.1 y 100 nm y poseen propiedades fisicoquímicas, ópticas, magnéticas y eléctricas distinguidas en comparación con materiales convencionales [19].

Nanomateriales como las nanopartículas de sílice mesoporosa (MSN), nano-hidroxiapatita (nHA), nanopartículas de

oro (NPAu), nanotubos de carbono (NTC) y óxido de grafeno (OG) se han estudiado como refuerzo de los **andamios**, también conocidos como **nanocompuestos** o como vehículos para la administración de fármacos [20, 21].

Las estrategias para emplear los nanomateriales en la medicina regenerativa dependerán del tipo de tejido que se requiera **regenerar**. Por ejemplo, cuando el tejido óseo que forma el sistema esquelético humano, se ve alterado por diversas enfermedades como fracturas óseas no unidas, osteoartritis, osteoporosis o cánceres y tumores óseos, puede causar dolor y habilidades limitadas. En estos casos, usualmente se emplea un **andamio** híbrido orgánico-inorgánico de hidroxiapatita y poli (ácido láctico) (PLA) para mantener su nanoestructura y alta porosidad que pueden mejorar el



crecimiento y la supervivencia de las células óseas, y mejorar sus propiedades mecánicas [22].

El desarrollo de andamios biológicos tiene la finalidad de regenerar, mantener o mejorar la función de tejido lesionado. En el caso de la ingeniería de tejido ósea, estos andamios deben ser **osteconductores**, **osteoinductores** y **osteogénicos**. La **osteconductividad** es la propiedad que permitirá la

unión, la supervivencia y la migración de células osteogénicas; por otro lado, la **osteoinducción** ofrece un factor físico y bioquímico para activar o inducir a las células troncales a promover el crecimiento de los osteoblastos a través de la **diferenciación** osteoblástica. La actividad osteogénica de los andamios óseos, se deriva en su construcción que contienen células troncales y/o biomoléculas osteogénicas que activan la diferenciación osteoblástica.

### Para terminar:

- Observa lo que ocurre una vez que se ha realizado la actividad experimental.
- ¿Qué tan difícil te resultó tratar de reparar los huesos?
- Para el caso de las lesiones óseas que requerían relleno, ¿qué dificultad sorteaste para poder integrar el andamio sólido que elaboraste en lesiones con bordes azarosos?
- ¿Consideras que la forma del andamio, podría afectar su uso en una cirugía? ¿Por qué?
- Si consideras que las partículas de diamantina representan aquellos nanomateriales con propiedades osteoinductoras, ¿qué esperarías que pase con la región ósea que acabas de rellenar con dicho material?
- En el caso de las arcillas, como la arena que incorporaste a la gelatina, ¿qué tan difícil te resultó que el andamio se solidificará? ¿Consideras que la concentración del nanomaterial incorporado (en este caso la arena) influirá en la dureza del material y en su gelificación?
- Si consideras que la diamantina y la arena son materiales osteoinductores y solo quedarán en una parte del andamio, ¿cómo influye la dispersión de los materiales nanométricos (arena o diamantina) en la actividad biológica del andamio? ¿Consideras que solo se regenere la parte donde quedó el nanomaterial? ¿Por qué?
- Elabora tus conclusiones.
- Escribe en el reporte del día.



## Sobre los autores

El Dr. **José Manuel Cervantes Uc** es Profesor Investigador Titular C en la Unidad de Materiales del CICY. Químico Industrial por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y doctor en Ciencias (Química) por la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-Iztapalapa). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 2, y de la Academia Mexicana de Ciencias. Ha publicado más de 70 artículos internacionales en revistas indexadas y cuenta con más de 2200 citas a sus trabajos según Scopus.

La I. B. **Noemí Iraís Pat Vázquez** es estudiante de posgrado (maestría) en Materiales Poliméricos, y colabora en los proyectos que se desarrollan en el Laboratorio de Biomateriales del CICY. En la licenciatura desarrolló una tesis enfocada en esponjas marinas para la regeneración ósea. Actualmente desarrolla estudios sobre el impacto de los plásticos en las células humanas.

La I. B. **Cielo Guadalupe Poot Bote** es estudiante de posgrado (maestría) y colabora en los proyectos que se desarrollan en el Laboratorio de Biomateriales del CICY. En su licenciatura desarrolló una tesis enfocada en el estudio del potencial anticancerígeno de nanotubos de carbono en modelos *in vitro*. Actualmente se enfoca en

el estudio de polímeros naturales para el desarrollo de nanomateriales con potencial aplicación en la liberación de principios activos de beneficio para el área biomédica.

La Dra. **Nayeli Rodríguez Fuentes** es investigadora Cátedras Conacyt, adscrita a la Unidad de Materiales del CICY. Química Farmacéutica Bióloga por la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, maestra en Ciencias (Bioquímicas) por la UNAM (Fac. Química) y doctora en Ciencias (Biología experimental) por la UNAM (Fac. Medicina), tiene un posdoctorado en Biomateriales en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1.

El Dr. **Jorge Alonso Uribe Calderón** es profesor investigador interesado en la síntesis y modificación superficial de nanopartículas como el óxido de grafeno, nanotubos de carbono, nanoarcillas, nanocristales de celulosa, entre otras nanoestructuras para su aprovechamiento en diversas aplicaciones, como el diseño de nuevos materiales estructurales, liberación de medicamentos, almacenamiento de energía y nanofertilizantes. Ha publicado más de treinta artículos científicos, capítulos de libro; también ha dirigido tesis de licenciatura, maestría y doctorado.



## Glosario

**Andamio:** sustitutos biológicos para reparar o mejorar la función de un tejido u órgano. Estructura tridimensional que dará soporte a las células.

**Biomaterial:** también conocidos como materiales biocompatibles; se definen como cualquier sustancia o combinación de sustancias naturales o sintéticas, que pueden ser empleadas en un sistema biológico por un tiempo determinado y con una función particular.

**Biopolímero:** macromoléculas presentes en los seres vivos; se dividen en tres familias fundamentales que incluyen las proteínas, los polisacáridos y por último, los ácidos nucleicos, es decir el ADN y ARN.

**Diferenciación:** proceso por el cual una célula troncal puede convertirse en otro tipo de célula. Este proceso involucra cambios físicos, químicos y biológicos en la célula que lo experimenta.

**Ingeniería de tejidos:** rama de la bioingeniería que se sirve de la combinación de materiales, células, biomoléculas para mejorar o reemplazar funciones biológicas.

**Colágena:** proteína más abundante del cuerpo humano; están principalmente en piel, tendones y huesos, considerada como biopolímero.

**Hidroxiapatita:** componente principal del hueso, hecho de fosfato de calcio.

**Homeostasis:** propiedad de los organismos que consiste en su capacidad de mantener una condición interna estable compensando los cambios en su entorno mediante el intercambio regulado de materia y energía con el exterior (metabolismo).

**Ingeniería de Tejidos:** rama de la bioingeniería que se sirve de la combinación de materiales, células, biomoléculas para mejorar o reemplazar funciones biológicas.

**Materiales compuestos:** aquellos formados por dos o más componentes, de forma que las propiedades del material final sean superiores que las de los componentes por separado.

**Microscopio:** instrumento óptico que aumenta el tamaño de los objetos, de tal forma que permite observarlos y analizarlos a detalle.

**Nanocompuestos:** materiales compuestos formados por dos o más fases, donde al menos una de estas tiene una de sus tres dimensiones en escala nanométrica.

**Nanomateriales:** materiales especialmente sintetizados para tener al menos una dimensión entre 1 y 100 nm y poseen propiedades fisicoquímicas, ópticas, magnéticas y eléctricas distinguidas en comparación con materiales convencionales.

**Osteoconductividad:** capacidad que un material posee para actuar como un sustrato en el cual las células puedan adherirse y desarrollar sus funciones. Las células pueden conducirse a través de ellos.

**Osteogénesis:** proceso de formación de tejido óseo, producto de la activación de los osteoblastos.

**Osteoinducción:** capacidad de promover la diferenciación de células madre a osteoblastos.

**Osteoide:** porción orgánica sin mineralizar de la matriz ósea que se forma con anterioridad a la maduración del tejido óseo.



**Polímero:** macromoléculas que se obtienen por la unión de una o más moléculas pequeñas repetidas a lo largo de una cadena denominadas monómeros.

**Regenerar:** dar nuevo ser a algo que degeneró, restablecerlo o mejorarlo. En el caso de la regeneración ósea, inducir mecanismos moleculares (diferenciación osteoblástica) para promover que el propio paciente forme su hueso apoyado de la triada de la ingeniería de tejidos.

**Reparar:** arreglar algo que está roto o estropeado. Enmendar, corregir o remediar una lesión.

**Proliferación:** aumento del número de células como resultado del crecimiento y la multiplicación celular.

**Sustancia fundamental:** conjunto de proteínas sobre las cuales se fijan las sales minerales para formar diferentes tejidos conectivos.

**Vehículo para la administración de fármacos:** tecnologías diseñadas para la administración dirigida y/o la liberación controlada de agentes terapéuticos.



## Referencias

- Engel, E., Michiardi, A., Navarro, M., Lacroix, D., y Planell, J. A. (2008). Nanotechnology in regenerative medicine: the materials side. En *Trends in Biotechnology*. 26(1): p. 39-47.
- Yafeng, Y., Aditya, C., Jin, Z., Adam, E., Hae, L. J., y Ali, K. (2019). Applications of Nanotechnology for Regenerative Medicine; Healing Tissues at the Nanoscale. En *Principles of Regenerative Medicine*. Academic Press. p. 485-504.
- Rodriguez-Fuentes, N., et al. (2013). Nuk-bone(R) promotes proliferation and osteoblastic differentiation of mesenchymal stem cells from human amniotic membrane. En *Biochem Biophys Res Commun*. 434(3): p. 676-80.
- Cueva-Del Castillo, J. F., Valdés-Gutiérrez, G. A., Elizondo-Vázquez, F., Piña Barba, M. C., y León-Mancilla, B. H. (2009). *Bone loss treatment, pseudoarthrosis, arthrodesis and benign tumors using xenoinplant: clinical study*. 77: p. 267-271.
- Li, Y., y Liu, C. (2017). *Nanomaterial-based bone regeneration*. *Nanoscale*. 9(15): p. 4862-4874.
- Gong, J. X., Liao, J., Zhang, T., Lin, S., y Lin, Y. (2015). *Nanomaterials and bone regeneration*. *Bone Res*.
- Hill, M.J. et al. (2019). Nanomaterials for bone tissue regeneration: Updates and future perspectives. En *Nanomedicine*. 14(22): p. 2987-3006.
- Wang, Q., Yan, J., Yang, J., y Li, B. (2016). Nanomaterials promise better bone repair. En *Mater. Today*. 19(8): p. 451-463.
- Langer, R., y Vacanti, J. (2016). Advances in tissue engineering. En *J Pediatr Surg*. 51(1): p. 8-12.



- Madrid, U.C.d. (2014). *Fisiopatología ósea*. Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: [www.ucm.es/data/cont/docs/420-2014-02-18-01%20fisiopatologia%20osea.pdf](http://www.ucm.es/data/cont/docs/420-2014-02-18-01%20fisiopatologia%20osea.pdf).
- Dong, Q., Shang, H., Wu, W., Chen, F., Zhang, J., Guo, J., y Mao, T. (2012). Prefabrication of axial vascularized tissue engineering coral bone by an arteriovenous loop: A better model. En *Materials Science and Engineering*. 32(6): p. 1536-1541.
- Fernández, I. A. G., Canto, M., y Blanco, L. (2006). Bases fisiológicas de la regeneración ósea II: El proceso de remodelado. En *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal* (en línea). 11(2): p. 151-157.
- Vacanti, J. P., y C. A. V. (2014). The History and Scope of Tissue Engineering. En *Princ. Tissue Eng.* Academic Press: Boston. p. 3-8.
- Furth, M. E., y A. A. (2014). Tissue Engineering: Future Perspectives. En *Princ. Tissue Eng.* Boston. p. 83-123.
- Serrato Ochoa, D., Nieto Aguilar, R., y Aguilera Méndez, A. (2015). *Ingeniería de tejidos. Una nueva disciplina en medicina regenerativa*. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 64(1): p. 61-69.
- Ratner, B., Hoffman, A., Schoen, F., y Lemons, J. (2004). *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine*. 2nd Edition. ed. Biomaterials Science:, ed. A. Press. Vol. 1: Academic Press.
- Park, J. B., y Bronzino, J. D. (2002). Biomaterials: Principles and Applications. En *Biomaterials*.
- Sastre Muñoz, R., San Roman del Barrio, J., y Aza Pendas, S. (2004). Biomateriales. En *Biomateriales*. Faenza Editrice Ibérica: España. p. 1-512.
- Engel, E., Michiardi, A., Navarro, M., Lacroix, D., y Planell J. A. (2008). Nanotechnology in regenerative medicine: the materials side. En *Trends in Biotechnology*. 26(1): p. 39-47.
- Hill, M.J. et al. (2019). Nanomaterials for bone tissue regeneration: Updates and future perspectives. En *Nanomedicine*. 14(22): p. 2987-3006.
- Wang, Q., Yan, J., Yang, J., y Li, B. (2016). Nanomaterials promise better bone repair. En *Mater. Today*. 19(8): p. 451-463.
- Pokrywczynska, M. et al. (2015). *Application of bladder acellular matrix in urinary bladder regeneration: the state of the art and future directions*. Biomed Res Int. p. 613439.