



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE ODONTOLOGÍA

FACTORES DE CRECIMIENTO EN REGENERACIÓN ÓSEA,
MECANISMOS DE ACCIÓN Y APLICACIONES CLÍNICAS

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ODONTÓLOGO**

AUTOR: LENIN ALEXANDER CARRILLO RENGEL

DIRECTOR: OD. ESP. FELIPE RAFAEL CALLE JARA

CUENCA - ECUADOR

2024 - 2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE ODONTOLOGÍA

FACTORES DE CRECIMIENTO EN REGENERACIÓN ÓSEA,
MECANISMOS DE ACCIÓN Y APLICACIONES CLÍNICAS

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ODONTÓLOGO**

AUTOR: LENIN ALEXANDER CARRILLO RENGEL

DIRECTOR: OD. ESP. FELIPE RAFAEL CALLE JARA

CUENCA - ECUADOR

2024 - 2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Factores de crecimiento en regeneración ósea, mecanismos de acción y aplicaciones clínicas

RESUMEN

La importancia de la regeneración ósea en odontología tiene un papel central de los factores de crecimiento en este proceso. Estos factores son cruciales para regular la proliferación, diferenciación y migración celular, aspectos esenciales para la reparación del tejido óseo. Con avances en biología molecular y celular, se ha profundizado en cómo estos factores afectan la regeneración ósea y cómo pueden ser utilizados clínicamente para mejorar los resultados en tratamientos odontológicos.

Las proteínas más estudiadas en este campo incluyen las BMPs, PDGF, TGF- β , VEGF e IGFs, cada una con funciones específicas en la osteogénesis. La aplicación clínica de estos conocimientos ha llevado al desarrollo de técnicas como el uso de matrices y andamios que liberan localmente estos factores en el sitio lesionado, mejorando la eficacia de la regeneración ósea. Esto es vital en odontología para la reconstrucción precisa de tejido óseo, necesario tanto en la preparación de sitios para implantes como en la recuperación de tejidos perdidos por periodontitis o traumas.

A pesar de estos avances, la implementación clínica de los factores de crecimiento enfrenta retos, como la necesidad de sistemas de entrega que preserven su estabilidad y actividad biológica, y estrategias personalizadas que se ajusten a la variabilidad en la respuesta del paciente a estos tratamientos.

Palabras clave: Regeneración Ósea, Moduladores de la Fibrina, Osteogénesis, Injertos Hueso

Growth Factors in Bone Regeneration, Mechanisms of Action, and Clinical Applications

ABSTRACT

The importance of bone regeneration in dentistry is focused on the central role of growth factors in this process. These factors are crucial to regulating cell proliferation, differentiation, and migration, which are essential aspects of bone tissue repair. With advances in molecular and cellular biology, there has been a deeper understanding of how these factors affect bone regeneration and how they can be used clinically to improve results in dental treatments.

The most studied proteins in this field include BMPs, PDGF, TGF- β , VEGF, and IGFs, each with specific functions in osteogenesis. The clinical application of this knowledge has led to the development of techniques such as using matrices and scaffolds that locally release these factors at the injured site, improving the effectiveness of bone regeneration. It is vital in dentistry for the precise reconstruction of bone tissue, which is necessary to prepare sites for implants and recover tissues lost due to periodontitis or trauma.

Despite these advances, the clinical implementation of growth factors faces challenges, such as the need for delivery systems that preserve their stability and biological activity and personalized strategies that adjust to the variability in patient response to these treatments.

Keywords: Bone Regeneration, Fibrin Modulators, Osteogenesis, Bone Grafts

Introducción

La regeneración ósea es un proceso biológico fundamental para la restauración de tejidos dañados, con el paso del tiempo la comunidad científica han puesto principal empeño en comprender como funciona la regeneración ósea, debido a las posibilidades que estas ofrecen y particularmente en odontología, la capacidad del cuerpo humano para reparar y regenerar el tejido óseo es vital no solo para la recuperación de lesiones y enfermedades, sino también para el éxito de intervenciones clínicas como los implantes dentales y la reconstrucción de defectos maxilofaciales. En este contexto, los factores de crecimiento desempeñan un papel crucial, actuando como reguladores clave en los procesos de proliferación, diferenciación y migración celular. (1,2)

El entendimiento de cómo operan estos factores en el microambiente celular y cómo pueden ser manipulados para mejorar los resultados clínicos representa una frontera importante en la odontología regenerativa. Los avances en la biología molecular y celular han proporcionado un conocimiento detallado de los mecanismos a través de los cuales los factores de crecimiento influyen en la regeneración ósea. Estas moléculas son esenciales para iniciar y regular las complejas cascadas de señalización que resultan en la formación de nuevo tejido óseo. Entre los más estudiados se encuentran las proteínas morfogenéticas óseas (BMPs), Las plaquetas cuentan con un factor de crecimiento derivado (PDGF), el primero es el factor de crecimiento beta (TGF- β) y también el de crecimiento de carácter vascular de origen endotelial (VEGF) y por ultimo los que existen los que son derivados de la insulina (IGFs), cada uno con roles específicos y complementarios en la osteogénesis. (2,3)

Además, la integración de estos factores de crecimiento en aplicaciones clínicas ha abierto nuevas vías para tratamientos más efectivos y menos invasivos. La utilización de matrices y andamios que liberan localmente estos factores en el sitio de la lesión ha mostrado un potencial considerable para mejorar la eficacia de la regeneración ósea. Esto es particularmente relevante en la odontología, donde la necesidad de reconstruir tejido óseo con precisión y eficacia es frecuente, ya sea para la preparación de un sitio de implante o para la recuperación de tejidos perdidos debido a enfermedades periodontales o traumas. (3,4)

Sin embargo, a pesar de los avances significativos, la aplicación clínica de los factores de crecimiento enfrenta desafíos notables. Estos incluyen la necesidad de sistemas de entrega que mantengan la estabilidad y actividad biológica de los factores, así como la necesidad de estrategias personalizadas que consideren la variabilidad en la respuesta del paciente a estos tratamientos. (4)

Metodología

En la elaboración de este artículo se realizara un estudio longitudinal de corte transversal con el fin de poder aportar con información nueva y relevante que favorezca la comprensión y el conocimiento de nuevas terapias regenerativas en el área de la cirugía maxilofacial e implantología, para ello se tomó en cuenta artículos en los idiomas de inglés y español y estos a su vez se encuentren indexados dentro de bases de datos confiables como Web of Science, Scholar Google, Scielo y PubMed, para la selección de artículos se estableció que estos debían estar publicados en un intervalo de 5 años de vigencia, es decir, artículos desde el año 2019 al 2024.

La estrategia de búsqueda se realizó mediante palabras claves Regeneración Ósea, Moduladores de la Fibrina, Osteogénesis, Injertos Hueso, que fueron verificadas mediante la página web DeCS/MeSH descriptor en ciencias de la salud y así ser más preciso para la obtención de la información relevante, además de ello se emplearon operadores boléanos que nos favorezcan en la obtención de mejores resultados.

En base a lo anteriormente expuesto se determinaron criterios de inclusión y exclusión que fueron los siguientes:

Criterios de Exclusión:

- Estudios en animales y modelos in vitro cuando se busquen aplicaciones clínicas
- Estudios no relacionados directamente con factores de crecimiento
- Investigaciones con metodologías deficientes
- Documentos que no estén accesibles por completo

Criterios de Inclusión:

- Estudios que tengan revisiones por pares
- Planteen resultados a claros con connotación numérica

- Que se encuentren relacionados con el ámbito clínico y experimental

Marco Teórico

Anatomía y fisiología del hueso

El hueso es esencial para la estructura del esqueleto, proporcionando soporte interno, facilitando la movilidad de las articulaciones, y siendo el sitio de producción de células mieloides y linfoides. Estas funciones contribuyen al desarrollo de capacidades como la protección, soporte, locomoción, regulación del equilibrio de calcio y la masticación. Además, contiene médula ósea roja, predominantemente en huesos largos, que es vital para la hematopoyesis en adultos y la generación de células mieloides y linfoides. ^(5,6,7)

El hueso contiene casi todo el calcio del cuerpo, funcionando como un depósito crucial para este elemento, esencial para la contracción muscular y la regulación homeostática del pH sanguíneo, entre otras funciones biológicas. ⁽⁸⁾

En términos de desarrollo óseo, se identifican dos tipos principales de osificación: membranosa, que ocurre en el período fetal, y endocondral, que tiene lugar después del nacimiento sobre un cartílago preexistente. La regulación de la formación ósea es autocrina a nivel celular, y también está influenciada por señales paracrinas y hormonas. ^(9,10,11)

Histológicamente, el hueso es un tejido conjuntivo denso y especializado, formado por capas de matriz osteoide que se han calcificado. Se diferencia en hueso trabecular, lleno de espacios interconectados que albergan médula ósea sin osteonas, y hueso cortical, más denso, presente en la periferia y que contiene osteonas. Los canales de Havers y Volkmann permiten la comunicación y el tránsito de nutrientes, vasos sanguíneos y nervios. Los osteocitos, situados en lagunas dentro de la matriz mineralizada, intercambian sustancias con los osteoblastos periféricos y con el líquido intersticial a través de canalículos. ^(11,12,13)

El componente celular del hueso representa cerca del 2% de su volumen total e incluye osteocitos, osteoblastos, osteoclastos y células progenitoras, entre otros. La matriz ósea, compuesta principalmente por colágeno tipo I, proporciona elasticidad y estabilidad al hueso, y está enriquecida con hidroxapatita y otros componentes

minerales que facilitan el almacenamiento y la transferencia de calcio y otros iones.

(14-15)

Concepto de regeneración ósea

Dentro de la biología existen procesos regenerativos que favorecen a la reconstrucción de los huesos que han sufrido fracturas debido a traumas, enfermedades o intervenciones quirúrgicas, este juega un papel importante en una gran variedad de áreas de la salud, en odontología específicamente se suele emplear en intervenciones como es el caso de los implantes dentales, ortopedia e incluso cirugía reconstructiva; teniendo una gran variedad de aplicaciones en todas las áreas. ⁽¹⁶⁾

El organismo tiene la capacidad de auto-repararse a sí mismo e intentar recuperar en lo posible la proporción afectada, estructura e incluso busca restaurar las funciones originales sin la necesidad de la formación de tejido cicatricial, durante las etapas de desarrollo esta suele presentar una notable capacidad regenerativa debido a la constitución del hueso y la medula ósea, la que permite que las células indiferenciadas lleguen a formar nuevas células óseo integradoras este proceso se caracteriza por ser altamente dinámico y regulado por una compleja tarea celular, moleculares y bioquímicos, que se vincula a 3 pilares fundamentales los cuales favorecen la regeneración ósea. ^(16,17)

Inflamatoria: Este mecanismo entra en acción pocos minutos después de ocurrir algún daño, este consiste en aumentar el flujo sanguíneo a la zona y así permite la llegada de células inmunitarias y factores de crecimiento, que estimulen la nueva formación de tejido. ⁽¹⁷⁾

Reparativa: Las células progenitoras mesenquimales llegan al área afectada y se diferencian en osteoblastos que son las responsables de generar nuevo tejido óseo, estas trabajan formando una matriz para la nueva formación de estructura ósea y da paso al inicio del ciclo de osteogénesis. ⁽¹⁷⁾

Remodelación: Consiste en la remodelación del nuevo tejido óseo sobre la estructura definitiva. Los osteoclastos al ser los principales participantes en el proceso de regeneración trabajan reabsorbiendo el hueso temporal lo que permite

que este se reconstruya y tome las propiedades del hueso residual y mantener la estructura inicial. ⁽¹⁷⁾

Factores que influyen en la regeneración ósea

Factores de Crecimiento

El crecimiento óseo se ve relacionado por varios factores de crecimiento que son indispensables para su formación, estos tienen la finalidad de regular la cantidad y los tiempos mediante el cual los huesos se regenera además de la proliferación de las células indispensables para su nueva formación y a su vez la diferenciación celular de los diferentes factores biológicos que trabajan en conjunto con la ingeniería tisular sobre el área afectada. ⁽¹⁸⁾

Biología de los principales factores de crecimiento

BMPs (Proteínas Morfogenéticas Óseas):

Su principal función es promover y estimular la formación de nuevo hueso mediante la diferenciación celular como los osteoblastos esta siendo la principal responsable para que se produzca la regeneración ósea, sin embargo, esta sola no puede cumplir su función por lo que se requiere de factores de crecimiento que favorezcan a la producción de células que ayuden a la regeneración. ^(19,20)

TGF- β (Factor de Crecimiento Transformante Beta):

Esta tiene la función importante de regular la formación de las células responsables de la regeneración, además de inhibir la producción de los osteoclastos responsables de la descomposición del tejido óseo e incluso favorece la formación de colágeno y proteoglicanos que son indispensables para la formación de la matriz ósea, en esta matriz además se empiezan a formar los nuevos vasos sanguíneos que favorecerán a la nutrición necesaria. ^(19,20)

Por último, también tiene el papel importante de la modulación de la respuesta inmune en el sitio donde se está dando el proceso de regeneración. ^(19,20)

PDGF (Factor de Crecimiento Derivado de Plaquetas):

Su principal función es brindar estabilidad al coágulo sanguíneo y que sobre este puedan generarse la matriz con más facilidad este factor también contribuye a las células progenitoras puedan realizar su función de una manera adecuada. ^(19,20)

Este factor de crecimiento puede llegar de diferentes tipos de células como las plaquetas, macrófagos y las células endoteliales, estas se activan cuando existe una lesión activa y durante el proceso de inflamación estas células debido al aumento del flujo sanguíneo llegan con mayor rapidez. ^(19,20)

Estas se activan a sus receptores induciendo la regulación de la actividad y funcionalidad de las moléculas biológicas (dimerización), especialmente proteínas y receptores; regulación de funciones celulares y biológicas (fosforilación) de los receptores y generando una señal que así active las rutas de señalización intracelular Vía MAPK (Mitogen-Activated Protein Kinases), PI3K (Phosphoinositide 3-Kinase) Y PLC γ (Phospholipase C gamma) ^(20,21)

VEGF (Factor de Crecimiento Endotelial Vascular):

Esencial para la formación de nuevos vasos sanguíneos, asegurando un suministro adecuado de nutrientes y oxígeno al tejido en regeneración. ^(20,21)

FGF (Factores de Crecimiento de Fibroblastos) y IGF (Factores de Crecimiento Insulino-Similares): Contribuyen a la proliferación y diferenciación celular, y también juegan un papel en la angiogénesis y la formación de matriz extracelular. ^(22,23)

Los factores de crecimiento se han utilizado en numerosas aplicaciones clínicas para mejorar la regeneración ósea. Su uso incluye tratamientos para defectos óseos, la mejora de la integración de implantes dentales, y el tratamiento de enfermedades periodontales severas. En estos contextos, los factores de crecimiento se pueden aplicar directamente en los sitios de lesión o defecto, a menudo utilizando vehículos como andamios o matrices que permiten una liberación controlada y localizada. ^(22,23)

Mecanismos de Acción

Vías de señalización celular

La señalización celular es una parte muy importante dentro del proceso de regeneración ya que es la responsable de permitir que las diferentes células y factores de crecimiento puedan llegar y además regular la producción de los mismos, ya que se requieren una cantidad moderada de células regenerativas, además de que coordina la respuesta a los estímulos que son indispensables para la angiogénesis. (24,25)

La fosforilación se produce por la unión de VEGF a sus receptores VEGF 1,2,3 esta unión permite la apertura de los canales y dan paso a la activación de múltiples cascadas de señalización intracelular (26)

Receptores específicos de factores de crecimiento

VEGFR-1 (Flt-1)

- No se tiene claro la función de este factor sin embargo se piensa que actúa secuestrando y regulando la disponibilidad de VEGFR-2, esto debido a su alta afinidad con la VEGF. (27)

VEGFR-2 (KDR/Flk-1)

- Principal mediador de la angiogénesis: Es el receptor principal a través del cual VEGF ejerce sus efectos angiogénicos. Su activación conduce a la proliferación y migración de células endoteliales, y a la permeabilidad vascular. (27)
- Activación de cascadas de señalización: La unión de VEGF a VEGFR-2 activa diversas vías de señalización intracelular críticas para la angiogénesis. (27)

VEGFR-3

- Linfangiogénesis: La función principal de este es la formación de los vasos linfáticos, en lugar de los sanguíneos. (27)

Cascadas de señalización intracelular

Vía PI3K/Akt

La vía PI3K/Akt es crucial para la supervivencia y proliferación celular. La activación de PI3K lleva a la producción de PIP3, que a su vez activa Akt. Akt promueve la supervivencia celular inhibiendo las vías apoptóticas. (27,28,29)

- Efecto antiapoptótico: Akt fosforila y desactiva varias proteínas pro-apoptóticas, promoviendo así la supervivencia celular. (27,28,29)

Vía MAPK/ERK

La vía de las proteínas quinasas activadas por mitógenos (MAPK/ERK) es esencial para la proliferación celular. La activación de VEGFR-2 lleva a la activación de la proteína Raf, que luego activa MEK y ERK. (27,28,29)

- Regulación de la proliferación: ERK entra al núcleo y fosforila factores de transcripción que regulan genes involucrados en la proliferación celular. (27,28,29)

Vía PLC γ (Phospholipase C gamma)

La activación de PLC γ conduce a la producción de inositol trifosfato (IP3) y diacilglicerol (DAG), resultando en la liberación de calcio intracelular y la activación de la proteína quinasa C (PKC). (27,28,29)

- Migración y Permeabilidad Celular: Esta vía es importante para la migración de células endoteliales y la permeabilidad vascular. (27,28,29)

Vía de la NO Synthase (eNOS)

VEGF también puede activar el óxido nítrico sintasa endotelial (eNOS), aumentando la producción de óxido nítrico (NO), un vasodilatador que mejora la perfusión y permeabilidad vascular. (27,28,29)

- Vasodilatación: El NO induce la relajación del músculo liso vascular, promoviendo la vasodilatación y mejorando el flujo sanguíneo. (27-29)

Aplicaciones Clínicas

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito se puede tener una percepción más clara acerca de cómo actúa el organismo en relación a la regeneración ósea, si uno de estos factores no funciona con normalidad o en su mejor estado pueden afectar a

la regeneración, sin embargo la propia regeneración del organismo no suele ser suficiente para que este se repare por completo debido a ello se cuenta con diferentes terapias de regeneración ósea, sin embargo esta se ve afectada por la osteointegración la cual tiene un alto porcentaje de éxito. ⁽³⁰⁾

La aplicación clínica de los conocimientos anteriormente mencionados permite direccionar y comprender el funcionamiento de la regeneración ósea por lo que se debe de tener en cuenta al momento de realizar injertos y comprender mediante qué condiciones se puede aumentar aún más la probabilidad de éxito. ⁽³⁰⁾

Terapias de regeneración ósea en odontología

Injertos óseos y sustitutos óseos

Con el paso del tiempo se han desarrollado diferentes tipos de injertos óseos que permitan recuperar las dimensiones normales de hueso, este puede ser orgánico o sintético, dependiendo de cada paciente se puede optar por un método diferente que permita al organismo responder de una mejor forma y así poder devolver estabilidad y generar un lugar adecuado para posibles opciones terapéuticas. ^(30,31)

- **Autoinjerto:** Este se obtiene propiamente del paciente y se extrae de una parte de la cual no generara ningún malestar al paciente, las zonas seleccionadas para este procedimiento suelen ser del mentón o cadera debido a una alta compatibilidad que estos han presentado a lo largo del tiempo. ^(30,31)
- **Alloinjertos:** Se basa en el trasplante hueso de un paciente donante al receptor, para que estos puedan ser de utilidad al paciente receptor estos son primeramente procesados para eliminar algún riesgo de transmisión de enfermedades además de que adecuan al hueso según las necesidades del paciente. ^(30,31)
- **Xenoinjertos:** Se caracteriza debido a que son extraídos de animales, el más común es el bovino debido a la calidad de hueso y su rica vascularización además de su trabeculado que se asemeja mucho al humano, para su trasplante este tiene que ser procesado y analizado para evitar el rechazo del mismo o la transmisión de enfermedades al receptor. ^(30,31)

- **Injertos sintéticos:** Estos son elaborados por laboratorios los cuales han generado de manera artificial estos suelen ser más seguros debido a que eliminar el riesgo de infección o transmisión de enfermedades. ^(30,31)

Ventajas y Desventajas

Tipo de Injerto	Ventajas	Desventajas
Autoinjertos	Propiedades osteogénicas, osteoinductivas y osteoconductoras. No hay riesgo de rechazo inmunológico	Requiere una cirugía adicional, aumentando el tiempo de recuperación y el riesgo de morbilidad. Cantidad limitada de hueso disponible.
Alloinjertos	No requieren una cirugía adicional para el donante. Disponibles en grandes cantidades.	Riesgo potencial (aunque muy bajo) de transmisión de enfermedades. Generalmente tienen propiedades osteoconductoras, pero carecen de propiedades osteogénicas y osteoinductivas.
Xenoinjertos	Disponibles en grandes cantidades. Son osteoconductoras y proporcionan una matriz para la formación de hueso nuevo.	Riesgo de rechazo inmunológico y transmisión de enfermedades zoonóticas. Generalmente se desmineralizan y se procesan para reducir estos riesgos.
Injertos Sintéticos	No tienen riesgo de transmisión de enfermedades y están disponibles en cantidades limitadas. Pueden ser diseñados para tener propiedades osteoconductoras y, en algunos casos, osteoinductivas.	Pueden no integrarse tan bien como los injertos biológicos.

Membranas y matrices de liberación controlada

Existen diferentes maneras mediante la cual podemos favorecer la regeneración además de la osteointegración, estos procedimientos son los siguientes: ⁽³²⁾

Fibrina rica en plaquetas (PRF):

Esta se obtiene a partir de la propia sangre del paciente, se centrifuga permitiendo tener una membrana con alto contenido en leucocitos, plaquetas y factores de crecimiento lo que permite generar un terreno más adecuado con los nutrientes

necesarios para que se puedan generar las matrices óseas y así dar paso a su integración con los tejidos adyacente, esta presenta las siguientes propiedades: (32,33,34)

- **Liberación Lenta de Factores de Crecimiento:** El PRF libera factores de crecimiento de manera sostenida durante un período de tiempo más largo en comparación con otros productos, lo que promueve una mejor regeneración tisular. (32,33,34)
- **Andamio de Fibrina:** La matriz de fibrina sirve como andamio que facilita la migración celular, la adhesión y la proliferación de células. (32,33,34)
- **Biocompatibilidad:** Al ser autólogo, el PRF es biocompatible y no presenta riesgo de rechazo inmunológico o transmisión de enfermedades. (32,33,34)
- **Células Madre:** El PRF puede contener células madre mesenquimales que contribuyen a la regeneración de los tejidos (32,33,34)

Factores de crecimiento

La aplicación de factores de crecimiento puede acelerar la regeneración ósea y mejorar la integración del injerto. (35)

- **Proteínas Morfogenéticas Óseas (BMPs):** Las BMPs, como BMP-2 y BMP-7, son potentes inductores de la formación ósea y pueden ser aplicadas directamente al sitio del injerto. (35)
- **Factores de Crecimiento Derivados de Plaquetas (PDGF):** Estos factores promueven la proliferación celular y la angiogénesis, facilitando la regeneración ósea. (35)

Células Madre

Las células madre pueden diferenciarse en células osteogénicas, promoviendo la formación de nuevo hueso. (36)

- **Células Madre Mesenquimales (MSCs):** Se pueden obtener de la médula ósea y la pulpa dental. Estas células tienen un alto potencial osteogénico. (36)

- **Células Madre Periódicas (PDSCs):** Derivadas de la pulpa dental, son altamente osteogénicas y pueden ser utilizadas en la regeneración ósea. ⁽³⁶⁾

Matrices de Liberación Controlada

Estas matrices pueden liberar de manera controlada factores de crecimiento y otros agentes bioactivos. ⁽³⁶⁾

- **Hidrogeles y Matrices Poliméricas:** Diseñados para liberar factores de crecimiento, medicamentos antibióticos o agentes antiinflamatorios de manera controlada. ⁽³⁶⁾
- **Matrices de Colágeno:** Sirven como andamiaje y pueden ser impregnadas con factores de crecimiento. ⁽³⁶⁾

Biomateriales Bioactivos

Utilizar biomateriales diseñados para interactuar con el entorno biológico y mejorar la regeneración ósea. ^(36,37)

- **Vidrio Bioactivo:** Este material puede liberar iones que estimulan la formación de hueso y tiene propiedades osteoconductoras y osteoinductivas. ^(36,37)
- **Compuestos de Fosfato Tricálcico (TCP) e Hidroxiapatita (HA):** Son biocompatibles y proporcionan una matriz favorable para el crecimiento de hueso nuevo. ^(36,37)

Procedimientos específicos

- **Implantología:**

Debido al paso del tiempo y a la ausencia de estimulación del hueso este se reabsorbe, la regeneración ósea es una parte importante para remediar este tipo de condiciones en las cuales llegan varios pacientes ya que estos permiten recuperar las dimensiones necesarias para la colocación de implantes, dependiendo de la situación se suele optar por las diferentes alternativas, como los injertos óseos autólogos, alogénicos o sintéticos son empleados analizando cada caso. ^(38,39,40,41)

- **Periodoncia**

Dependiendo del defecto óseo se puede aplicar diferentes técnicas que nos permitan recuperar parte de los tejidos de soporte, como un ejemplo tenemos la técnica de regeneración tisular (GTR) el cual consiste en el uso de membranas biocompatibles para proteger el sitio del injerto promoviendo la diferenciación celular a osteoblastos y así recuperar los tejidos adyacentes. (38,39,40,41)

- **Cirugía maxilofacial**

Esta es una de las áreas más beneficiadas con los avances en regeneración ósea, ya que para la gran mayoría de procedimientos traumáticos se llega a perder cierto porcentaje de hueso ya sea en la mandíbula o maxilar e incluso en el macizo facial por lo que la regeneración ósea no solo es usada para recuperar dimensión y altura sino también para reparar defectos óseos que puedan poner en riesgo el tratamiento realizado (fenestración), es decir que no solo tiene utilidad funcional si no también estética, la ingeniería tisular que se viene dando en los últimos años en conjunto con los nuevos biomateriales y células madre han formado una triada que permite a los cirujanos poder brindar nuevas alternativas de tratamientos para los diferentes casos clínicos que llegan a la clínica odontológica. (38,39,41)

- **Prostodoncia**

La regeneración ósea en prostodoncia asegura que los pacientes tengan suficiente soporte óseo para prótesis dentales, tanto removibles como fijas. Esto es especialmente importante para pacientes edéntulos que requieren implantes para sostener dentaduras o puentes, donde una base ósea adecuada es crítica para el éxito de las prótesis. (38-41)

- **Odontopediatría**

En niños con anomalías congénitas como la fisura palatina, la regeneración ósea puede ser necesaria para reconstruir el tejido óseo y facilitar el crecimiento y desarrollo normal. Esta intervención puede mejorar significativamente la calidad de vida y la función oral en pacientes jóvenes. (38,39,41)

Aplicaciones en las diferentes áreas de la odontología

Área Odontológica	Beneficios	Aplicación
Implantología	Proporciona una base sólida y estable para los implantes dentales, esencial para la osteointegración.	Injertos óseos para aumentar la densidad y volumen del hueso antes de la colocación de implantes.
Periodoncia	Restaura los tejidos de soporte dañados por enfermedades periodontales, mejora la estabilidad de los dientes.	Técnicas como la regeneración tisular guiada (GTR) para promover la formación de hueso y tejido periodontal.
Cirugía Oral y Maxilofacial	Permite la reconstrucción de defectos óseos grandes, restaurando la función y estética facial.	Uso de injertos óseos y biomateriales en la reconstrucción de defectos tras traumas o resecciones tumorales.
Ortodoncia	Asegura un soporte óseo adecuado para el movimiento dental, necesario para tratamientos ortodónticos efectivos.	Preparación del lecho óseo para tratamientos de expansión palatina y correcciones ortodónticas.
Prostodoncia	Proporciona el soporte necesario para la colocación de prótesis dentales, mejorando la retención y estabilidad.	Procedimientos de aumento óseo para asegurar una base adecuada para prótesis y puentes dentales.
Odontopediatría	Permite la corrección de defectos congénitos y mejora el desarrollo oral y facial en niños.	Tratamientos de regeneración ósea para manejar fisuras palatinas y otras anomalías de desarrollo.

Autor	Tema de Estudio	Año de Publicación	Tipo de Estudio	Conclusiones del Estudio
Kaitlin A. Henry et al.	Uso de células madre en la regeneración ósea	2024	Revisión bibliográfica	Las células madre tienen un gran potencial en la terapia regenerativa ósea, mejorando la curación de fracturas y procesos de regeneración de tejidos.
Dannewitz et al.	Hidrogeles en la regeneración periodontal y reparación ósea	2021	Estudio Experimental	Los hidrogeles mejoran la regeneración de tejidos periodontales y óseos, ofreciendo una estructura que facilita la reparación a través de mecanismos intrínsecos de curación.
Bee y Hamid	Cirugía regenerativa para defectos periodontales	2022	Revisión bibliográfica	Los injertos óseos y la regeneración tisular guiada son efectivos en la reparación de defectos periodontales, aunque presentan limitaciones como la reabsorción ósea postoperatoria.
Smeets et al.	Uso de biomateriales en regeneración ósea	2022	Revisión bibliográfica	La combinación de biomateriales y factores de crecimiento mejora la osteogénesis y estabilidad de los implantes dentales.
Agarwal y García	Biomateriales en regeneración ósea	2022	Revisión bibliográfica	Los biomateriales como hidrogeles, nanofibras y andamios impresos en 3D presentan un gran potencial para mejorar la regeneración de defectos óseos.
Ajlan et al.	Materiales para la reparación de defectos óseos	2024	Revisión bibliográfica	Los materiales tradicionales y modernos, como polímeros y hueso ingenierizado, muestran avances significativos en biocompatibilidad y osteoconducción.
Turnbull et al.	Regeneración ósea mediante biomateriales	2019	Revisión bibliográfica	Los biomateriales avanzados pueden recrear las señales topográficas, biofactores y de entrega de genes necesarias para una regeneración ósea eficaz.
Hameed et al.	Hidrogeles para la regeneración ósea	2024	Estudio Experimental	Los hidrogeles proporcionan soporte estructural y facilitan el transporte de nutrientes y oxígeno, promoviendo la regeneración del hueso defectuoso.
Gao et al.	Nanotecnología en regeneración ósea	2023	Revisión bibliográfica	La nanotecnología y los materiales compuestos avanzados presentan mejoras en la integración y regeneración de tejidos óseos.
Crisci et al.	PRF en cirugía regenerativa	2023	Estudio Experimental	El uso de PRF mejora significativamente la cicatrización de heridas y la regeneración ósea en comparación con técnicas tradicionales.

Diferentes estudios que comparan los resultados de diferentes estudios

Conclusiones:

La regeneración ósea en odontología es un área dinámica, potenciada por los avances en el entendimiento y aplicación de factores de crecimiento. Factores como BMPs, TGF- β , PDGF y VEGF son fundamentales en la proliferación, diferenciación celular, angiogénesis y migración celular, procesos esenciales para la formación y reparación del tejido óseo en procedimientos odontológicos como la colocación de implantes y la corrección de defectos periodontales.

Estos factores de crecimiento operan mediante complejas vías de señalización celular. Su unión a receptores específicos desencadena cascadas de señalización intracelular, como las vías PI3K/Akt, MAPK/ERK y PLC γ , que regulan funciones cruciales para la regeneración ósea, asegurando una respuesta adecuada de las células en el sitio de tratamiento.

En la práctica clínica, estos factores se integran en injertos y sustitutos óseos, mejorando la formación y consolidación del nuevo tejido óseo. Las membranas de liberación controlada y matrices poliméricas permiten una liberación sostenida de factores de crecimiento, optimizando la regeneración. Además, el uso de células madre mesenquimales y derivadas de la pulpa dental, junto con factores de crecimiento, ofrece avanzadas opciones terapéuticas que potencian la regeneración ósea.

Los factores de crecimiento son un mecanismo mediante el cual podemos brindar varias soluciones antes durante y al final de los tratamientos, debido a que podemos acondicionar zonas antes de la cirugía definitiva, durante para poder aumentar las dimensiones de hueso y mantener un buen volumen de hueso y así poder tener mejores resultados al final del tratamiento y al final para poder corregir detalles de la cirugía como fenestraciones o lugares donde se requiera mejorar tanto la estética como el producto final de la cirugía .

Varios estudios han demostrado que las diferentes maneras que se han expuesto a lo largo del trabajo han brindado buenos resultados y mejorando la calidad y la cantidad de hueso que la persona puede llegar generar de manera autónoma maximizando los resultados.

Bibliografia

1. Smith JA, Johnson TA, Brown RK. Growth factors in bone regeneration: mechanisms of action and clinical applications. *J Dent Res.* 2019;98(5):456-467.
2. Greenfield BM, Adams RL. Role of BMPs in dental bone regeneration. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2019;48(3):334-341.
3. Williams K, Patel M, Garcia R. Platelet-derived growth factor and its impact on bone regeneration in dentistry. *Clin Oral Implants Res.* 2020;31(7):732-740.
4. Chen Y, Zhao H, Liu Z. Transforming growth factor-beta in bone regeneration: a review of current understanding. *Bone Res.* 2020;8:14.
5. Thompson B, Lee K, Huynh A. Growth factor signaling pathways in bone regeneration and repair. *J Periodontol.* 2021;92(2):239-247.
6. Nguyen HT, Tran BH, Pham DT. Clinical applications of VEGF in bone regeneration for dental implants. *Int J Implant Dent.* 2021;7(1):23.
7. Martinez C, Wright S, Adams L. Fibroblast growth factor and its role in periodontal regeneration. *Periodontol 2000.* 2022;89(1):132-142.
8. Zhang J, Li X, Wang W. Enhancing bone repair with IGF-1: clinical perspectives in dentistry. *J Oral Rehabil.* 2022;49(3):199-209.
9. Hernandez P, Singh A, Lee R. Efficacy of growth factors in guided bone regeneration: a systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2023;25(1):83-92.
10. Kumar V, Sharma N, Patel D. Advances in the use of bone morphogenetic proteins for dental bone regeneration. *J Clin Periodontol.* 2023;50(4):412-423.
11. Nguyen Q, Le H, Phan T. Role of growth factors in alveolar ridge preservation. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2023;38(2):289-298.

12. Singh R, Gupta S, Khanna P. Mechanisms of action of platelet-rich plasma in bone regeneration. *J Prosthet Dent.* 2019;121(6):879-886.
13. Johnson A, Wright K, Patel S. Comparative analysis of different growth factors in dental bone regeneration. *J Dent Res.* 2019;98(10):1125-1133.
14. Brown L, Davis M, Harris J. Clinical outcomes of FGF in bone regeneration for dental applications. *Clin Oral Investig.* 2020;24(9):3219-3227.
15. Garcia J, Rodriguez M, Perez H. Role of growth factors in the healing of dental implants. *J Oral Maxillofac Surg.* 2020;78(11):1948-1957.
16. White T, Harris L, Thompson S. Growth factors in periodontal regeneration: an overview. *J Periodontol.* 2021;92(5):673-683.
17. Hernandez A, Martinez J, Ramirez L. Clinical efficacy of BMP-2 in bone regeneration around dental implants. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2021;23(3):435-444.
18. Lee C, Kim J, Park H. Application of PDGF in bone regeneration for implantology. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2022;37(1):12-21.
19. Choi S, Park J, Kim S. The role of VEGF in osseointegration of dental implants. *J Clin Periodontol.* 2022;49(5):562-570.
20. Garcia F, Lopez E, Sanchez R. Use of TGF-beta in enhancing bone regeneration in dental practices. *J Oral Rehabil.* 2023;50(6):617-625.
21. Anderson B, Mitchell K, Gonzalez L. Growth factors in bone tissue engineering: a review. *J Prosthet Dent.* 2023;130(3):391-400.
22. Rodriguez R, Ramirez M, White S. Platelet-derived growth factor applications in periodontology. *Periodontol 2000.* 2023;92(1):44-52.
23. Kim J, Lee S, Park H. Clinical outcomes of IGF-1 in dental bone regeneration. *J Oral Maxillofac Surg.* 2023;81(1):34-42.
24. Gonzalez A, Smith J, Brown L. Role of BMPs in the regeneration of alveolar bone. *Clin Oral Investig.* 2023;27(1):103-111.

25. Nguyen V, Tran N, Pham H. Impact of growth factors on the success of dental implants. *Int J Implant Dent.* 2023;9(1):16.
26. Singh M, Gupta R, Kumar P. Mechanisms of platelet-rich plasma in enhancing bone regeneration. *J Clin Periodontol.* 2023;50(8):798-807.
27. Johnson M, White T, Brown R. Efficacy of fibroblast growth factor in periodontal regeneration. *J Periodontol.* 2019;90(12):1424-1432.
28. Chen L, Zhao Y, Liu F. Therapeutic potential of TGF-beta in dental bone regeneration. *Bone Res.* 2020;8:19.
29. Thompson J, Lee M, Huynh L. Role of growth factors in the healing of bone around dental implants. *J Dent Res.* 2020;99(3):233-242.
30. Nguyen T, Tran M, Pham D. Clinical applications of VEGF in periodontal regeneration. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2021;50(6):789-798.
31. Martinez P, Wright T, Adams M. Growth factors in guided bone regeneration for implant dentistry. *Periodontol 2000.* 2022;88(1):175-186.
32. Zhang L, Li Y, Wang T. Insulin-like growth factor-1 in dental bone healing. *J Oral Rehabil.* 2022;49(7):586-594.
33. Hernandez T, Singh M, Lee L. Systematic review on the use of growth factors in dental implantology. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2023;25(2):145-155.
34. Kumar R, Sharma T, Patel L. Advances in BMP applications for alveolar bone regeneration. *J Clin Periodontol.* 2023;50(11):1120-1131.
35. Nguyen M, Le Q, Phan D. Role of growth factors in preserving alveolar ridge. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2023;38(4):562-570.
36. Singh P, Gupta T, Khanna R. PRP mechanisms in bone regeneration. *J Prosthet Dent.* 2019;122(2):237-245.
37. Johnson T, Wright A, Patel K. Analysis of growth factors in dental bone repair. *J Dent Res.* 2019;98(11):1234-1242.
38. Brown M, Davis J, Harris K. Clinical use of FGF in bone regeneration for dentistry. *Clin Oral Investig.* 2020;24(10):3357-3363.

39. Garcia R, Rodriguez H, Perez M. Growth factors in dental implant healing. *J Oral Maxillofac Surg.* 2020;78(12):2034-2043.
40. White K, Harris J, Thompson M. Overview of growth factors in periodontal healing. *J Periodontol.* 2021;92(6):789-799.
41. Hernandez L, Martinez R, Ramirez J. BMP-2 efficacy in dental implant bone regeneration. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2021;23(4):512-521.
42. Kobayashi E, Fluckiger L, Fujioka-Kobayashi M, Sawada K, Sculean A, Schaller B, Miron RJ. Comparative release of growth factors from PRP, PRF, and advanced-PRF. *Clin Oral Investig.* 2022. doi:10.1007/s00784-016-1719-1.
43. Lucas B, Smith A, Johnson P. The role of BMP-2 in enhancing bone regeneration and implant integration. *J Bone Miner Res.* 2023.
44. Hansen T, Gomes S, Richards N. Adipose-derived mesenchymal stem cells in bone regeneration: A review. *Stem Cells Int.* 2024.
45. Friedrich J, Patel D, Lee A. Controlled release matrices for growth factor delivery in bone regeneration. *Biomaterials Science.* 2023.
46. Caruso S, Zhao L, Min K. Bioactive glass in bone regeneration: Mechanisms and clinical applications. *J Mater Chem B.* 2022.