

La Mecanobiología en Odontología

Resumen— Gracias a la Mecanobiología computacional, se han desarrollado modelos muy detallados en la fisiología, patologías, recuperación, regeneración y cicatrización de diversas estructuras del Sistema Estomatognático. Principal campo de estudio de ésta rama de la Medicina. En los próximos años la Odontología sufrirá una rápida transformación. Los avances en Biología repercutirán en la detección de riesgos genéticos y factores ambientales. Existirán nuevas formas de restauración como los nanomateriales y sobre todo la Ingeniería de Tejidos. Es por ello que la propuesta para la investigación, permitirá obtener dichos alcances, mediante la interdisciplinariedad de las áreas de las ciencias de la salud, la Ingeniería y la Biomecánica.

Palabras Clave— Biomecánica, Mecanobiología, Odontología, simulación numérica.

Abstract— Thanks to computer Mechanobiology, it has developed very detailed models in physiology, pathology, recovery, regeneration and healing of various structures of the Stomatognathic System. Major field of study of this branch of medicine. In the coming years Dentistry undergo a rapid transformation. Advances in Biology impact on the detection of genetic risks and environmental factors. There will be new ways of restoration as nanomaterials and especially Tissue Engineering. That is why this research tool, let get these achievements through interdisciplinary areas of health sciences, Engineering and Biomechanics.

Keywords— Biomechanics, Mechanobiology, Dentistry, numerical simulation..

I. INTRODUCCIÓN

La principal herramienta de la medicina ha sido la Biología. Mediante las ciencias biológicas, la Medicina ha logrado explicar el comportamiento de células, tejidos y órganos [1]. Sin embargo, desde siglos atrás, la Física y la Ingeniería han estado en constante contacto con ella. Cuando se encuentran soluciones a problemas médicos y biológicos que involucran el conocimiento de la Mecánica, la Geometría y la Mecánica de los Materiales [2]. En particular, la Mecánica Clásica y la Ingeniería Mecánica han establecido vínculos insolubles en áreas médicas como la Ortopedia y la Traumatología [3], la Prótesis y Rehabilitación Bucal, la Ortodoncia, la Cirugía Maxilofacial y la Implantología Oral. Esto ha sido posible gracias a la interrelación entre ambas áreas Medicina e Ingeniería. Aportando cada una el fundamento teórico que complementa a la otra. Hoy en día ésta interacción se le conoce como Biomecánica.

Con la Biomecánica se iniciaron estudios interdisciplinarios sobre el comportamiento de los tejidos y órganos ante cargas externas. Se realizaron análisis de esfuerzo-deformación y su relación con la geometría, las restricciones y las cargas. La Biomecánica ha tenido un sorprendente avance desde su

origen, con Galileo Galilei quien estudió el ritmo cardiaco, hasta nuestros días [4]. Donde se realizan sofisticados estudios de nanotubos de carbono como andamios estructurales (scaffolds) para acelerar y mejorar el proceso de recuperación de fracturas (Figura 1) [5]. Estos estudios, se hicieron, inicialmente, de forma analítica, pero rápidamente, con el desarrollo de los sistemas computacionales, se lograron hacer modelos más sofisticados con ayuda de la Mecánica de Medios Continuos e Ingeniería Estructural. De manera que la Biomecánica, cuenta con dos grandes ramas; la Biomecánica Experimental y la Computacional [6]. La cual conforma una nueva rama de la Bioingeniería.

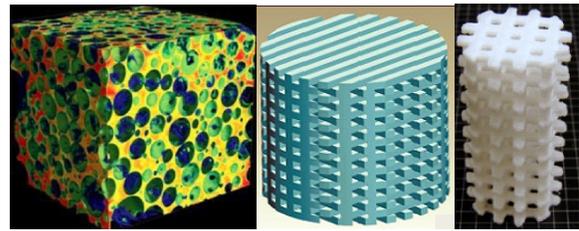


Figura 1. Andamios (scaffolds) tridimensionales para regeneración de tejidos.

La Biomecánica Computacional, hace uso de la Mecánica como herramienta de análisis en múltiples áreas de la Medicina. Su principal área de aplicación ha sido solucionar problemas ortopédicos y entender el sistema musculoesquelético. Las herramientas de la Mecánica clásica como la Mecánica de Fluidos, la Mecánica de Sólidos y el análisis de movimiento, son utilizados para entender el comportamiento de los diferentes tejidos, órganos, aparatos y sistemas que conforman a un ser vivo. El análisis de los tejidos duros, ha sido el más estudiado desde el punto de vista computacional [7]. Para ello se aplican conceptos de Mecánica de Sólidos avanzada, como son la elasticidad, viscoelasticidad, hiperelasticidad y plasticidad (Mecánica de Sólidos no lineal). Los métodos de solución de estos modelos de Mecánica de Sólidos utilizan principalmente, el de los Elementos Finitos y Elementos de Contorno (Figura 2) [8].

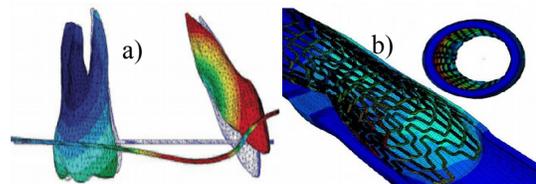


Figura 2. Principales métodos de solución de modelos de Mecánica de Sólidos. a) De los Elementos Finitos b) De Elementos de Contorno.

Es así como nace la Mecanobiología, la cual establece la relación del comportamiento del tejido desde el punto de vista biológico, a partir de las cargas mecánicas. Término acuñado por Rik Huiskes [9] la cual conformó una nueva rama de la bioingeniería.

II. DESARROLLO

La Mecanobiología tiene como objeto de estudio, el comportamiento que presentan los distintos niveles de organización de la materia viva. Es decir, las células, tejidos y órganos que componen a un organismo biológico. Bajo los efectos de la Bioquímica, la Biología celular y los estímulos externos, como lo son las cargas mecánicas. Estas últimas, influyen en la proliferación, diferenciación y metabolismo celular. Por lo que tiene un papel crucial en el crecimiento, adaptación, regeneración de los tejidos vivos. Involucra el desarrollo de modelos y la realización de experimentos. Combina técnicas biológicas experimentales (modelos in vitro e in vivo) y técnicas computarizadas (modelos matemáticos e informáticos) para crear la interacción entre la Mecánica y la Biología.

Con el objetivo de entender los procesos complejos que se presentan en la formación y mantenimiento homeostático de órganos y tejidos. Desde el punto de vista Biomecánico, ningún tejido vivo puede compararse con otro material de Ingeniería. Ya que dichos tejidos presentan un continuo proceso de regeneración y remodelación que permite mejorar su estructura, en función de los esfuerzos a los que es sometido [10]. Mediante esta disciplina se ha logrado aislar y analizar diversos efectos como lo son la genética, los factores moleculares y las cargas mecánicas sobre tejidos y órganos [8].

De forma general, en la Ingeniería cuando se resuelve algún problema mediante el cálculo numérico, éste produce una respuesta a un fenómeno conocido. En el caso de la Mecanobiología, se llevan a cabo diversos ensayos con distintas relaciones matemáticas, variables de entrada y estímulos biofísicos. Esto permite simular el comportamiento de un tejido u órgano. Lo que permite establecer hipótesis y mediante la simulación numérica, verificar si es viable el poder realizarla (Figura 3).

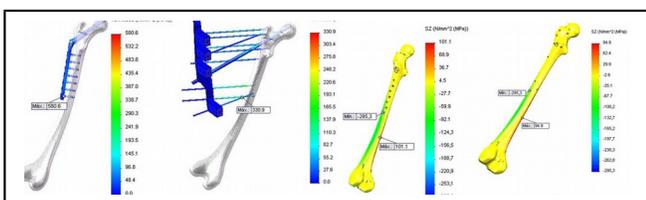


Figura 3. Predicción del comportamiento de un distractor osteogénico de fémur, mediante análisis mecanobiológico.

En comparación con las evidencias experimentales existentes. Esto es, permite obtener los datos que de forma experimental sería muy complicado obtener, abriéndose entonces nuevas vías de experimentación [6]. Es Por ello, que la simulación numérica ha sido recientemente citada como El tercer método de la ciencia, después de la lógica (teórica) y la experimentación [8].

Mediante la Mecanobiología Computacional ha sido posible simular y determinar, utilizando métodos numéricos, las reglas cuantitativas que gobiernan las acciones celulares. Para su expresión, diferenciación y mantenimiento ante estímulos

biológicos y mecánicos. El procedimiento para hallar dichas reglas es habitualmente mediante el proceso de ensayo y error [11]. Las simulaciones se realizan a partir de problemas en los cuales, las cargas mecánicas sobre el contorno son trasladadas a variables mecánicas locales o biofísicas (deformaciones y tensiones). Las cuales estimulan la respuesta celular a dichas variables o mecanotransducción. Es decir, cómo las células interpretan y responden a dichas variables. Estas respuestas pueden ser el regular la composición de la matriz y la expresión de sustancias moleculares, la remodelación, la deposición, etc. La mecanotransducción, es uno de los temas más importante en la Mecanobiología. Es el proceso en el que se requiere que las células sean capaces de detectar las señales mecánicas y transformarlas en señales biológicas [12,13]. Tanto la parte biológica como la mecánica se combinan en un modelo computacional, que considera la aplicación de fuerzas, la respuesta celular, genética y la transformación de las características de la matriz extracelular. El método usual de implementación numérica de estos problemas mecanobiológicos es el Método de los Elementos Finitos [14].

La Mecanobiología divide su campo de estudio en cuatro grandes áreas: Mecanobiología celular [15], Mecanobiología de tejidos [16], Mecanobiología de órganos [17] y Mecanobiología de patológica.

- Mecanobiología celular. Analiza el comportamiento mecánico intracelular, de diferenciación y expresión genética [18] (citogénesis).
- Mecanobiología de Tejidos. Establece el comportamiento mecánico extracelular [19]. Su área de estudio es la reacción de las células es decir, la conservación y producción de matriz intracelular, en los procesos homeostáticos y de adaptación.
- Mecanobiología de órganos. Estudia cómo se producen la fisiología, el crecimiento y la remodelación de los tejidos que constituyen a los órganos [20], ante los estímulos biofísicos.
- Mecanobiología patológica. Examina el establecimiento, génesis y etiología de enfermedades, así como sus posibles soluciones y tratamientos [21].

En el caso específico de la Odontología, gracias a la Mecanobiología se han desarrollado modelos muy detallados en la fisiología, patologías, recuperación, regeneración y cicatrización de diversas estructuras del Sistema Estomatognático. Principal campo de estudio de ésta rama de la Medicina. Actualmente es posible encontrar gran variedad de análisis mecanobiológicos aplicados en las distintas especialidades odontológicas. En el caso de la Implantología, Prótesis y Rehabilitación bucal, dichos análisis han permitido el establecimiento de modelos de osteointegración hueso-implante (Figura 4). Estos modelos permiten identificar las principales moléculas y células que intervienen en el proceso de migración celular para la conformación del nuevo tejido que se desarrollara alrededor del implante [22-23]. Dichos modelos permiten involucrar con mayor

exactitud, las variables de cicatrización desde el momento de la inserción de la prótesis hasta la formación total del tejido circundante [24]. Dentro de ésta misma especialidad, existen otras líneas de investigación de los tejidos de soporte, donde se incluye un modelo de remodelación ósea sobre la distribución de densidad ósea debido a cargas masticatorias en la mandíbula [25].

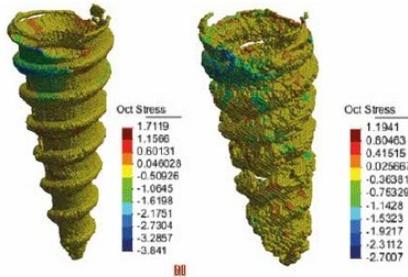


Figura 4. Modelo de integración hueso-implante

La Periodoncia es la especialidad médico-quirúrgica de la Odontología que estudia la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades y condiciones que afectan los tejidos que dan soporte a los órganos dentarios y a los substitutos implantados, para el mantenimiento de la salud, función y estética de los dientes y sus tejidos adyacentes. Por tanto, también es posible encontrar estudios mecanobiológicos sobre la reparación del ligamento periodontal [26]. Otra especialidad que utiliza en gran medida éste método de investigación es la Ortodoncia. La intervención de la Mecanobiología en ésta área permite la comprensión de la fisiología ósea en el movimiento dental. Con ello se han logrado mejores diagnósticos y planes de tratamiento, que disminuyen el tiempo del mismo y la recidiva resultante [27].

Además de los tejidos de soporte, tanto los tejidos que conforman los órganos dentales, como los dientes en sí mismos, también son candidatos a ser analizados por éste método (Figura 5). Los dientes concentran las fuerzas generadas por los músculos en áreas pequeñas como las superficies de contacto y cúspides o bordes incisales. El esmalte dental es el tejido más expuesto a fuerzas oclusales altas, por el extenso procesamiento de la comida en la cavidad bucal y la relación de contacto oclusal entre las piezas dentarias, por lo cual debe resistir desgastes y fracturas. Es una estructura cristalina sumamente compleja. Los prismas que lo estructuran son haces de cristales de hidroxiapatita ordenados y densamente empaquetados por una delicada red de material orgánico que los envuelve. Se considera el prisma como la unidad estructural básica del esmalte y se denomina esmalte prismático al conjunto de prismas que constituye la mayor parte de la matriz mineralizada [28]. Por su parte la dentina, es la que da soporte al esmalte y transmite las fuerzas que éste recibe. Su microestructura está dominada por la presencia de unas estructuras cristalinas en forma de cono invertido denominados túbulos dentinarios. Entre cada túbulo existe un canal peritubular el cual contiene colágeno tipo I, cristales de hidroxiapatita y fluido dentinario. Lo que constituye la matriz orgánica o intertubular [29].

El análisis de la distribución de los esfuerzos, en un sistema biológico como lo son los dientes bajo la acción de cargas,

es un problema complejo, dado el carácter de los tejidos del órgano dental, como materiales no homogéneos y las irregularidades geométricas de sus contornos y formas anatómicas; aunado a esto, el diente en su estructura está formado por el esmalte, la dentina, la pulpa y el cemento, cuyas propiedades mecánicas difieren una de otra. Así como son afectadas por estados de salud y patológicas, lo que hace aún más complejo su análisis. La Mecanobiología por lo tanto, es una buena opción para poder realizar dichos análisis. Ya que a través de ella, es posible realizar la caracterización del comportamiento de los tejidos y órganos dentales vivos, desde el punto de vista estructural. Situación que con medios experimentales, no es posible llevar a cabo. Esto permite determinar de forma cuantitativa la influencia de los aspectos mecánicos en la diferenciación de tejidos. Así como en su crecimiento, adaptación y modificación estructural, incorporando datos que simulen los procesos biológicos y celulares implicados.

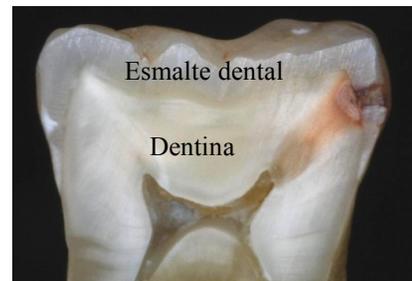


Figura 5. Tejidos dentales duros.

III. CONCLUSIONES

Los avances en la investigación de los procesos de la remodelación de los órganos y tejidos, han permitido dar a conocer que son múltiples factores, que van desde lo biológico hasta la biomecánica propia del entorno de cada sistema, que influyen en éste proceso. Esto ha generado el desarrollo de un nuevo campo de estudio dentro de la Biomecánica y la Bioingeniería, la Mecanobiología. Esta involucra el estudio de modelos matemáticos y la elaboración de experimentos orientados a entender los procesos biológicos que se presentan en la génesis, consolidación y mantenimiento de órganos y tejidos, con una visión multidisciplinaria.

En Odontología existen muchos campos en los que se puede utilizar la Mecanobiología. Sin embargo, es un área aún no tan conocida principalmente para los Odontólogos. Es necesario contar con profesionales especializados en esta rama, ya que se están generando cambios importantes en el ámbito de la salud. En los próximos años la Odontología sufrirá una rápida transformación. Los avances en Biología repercutirán en la detección de riesgos genéticos y factores ambientales. Existirán nuevas formas de restauración como los nanomateriales y sobre todo la Ingeniería de Tejidos. Hoy se realizan implantes, mañana se podrán producir piezas dentales a partir de tejido autólogo. Para ello, la Odontología debe contar con investigadores dotados en competencias en las áreas de Biología Física, Biomatemáticas, Biomecánica, Diseño Computacional, etc. Además de las propias ciencias

biológicas básicas, que les permitan una nueva visión del futuro de la investigación en Odontología. La Mecanobiología es el puente que se requiere para la interrelación de éstas áreas del conocimiento.

Esta herramienta de investigación debe ser abordada por grupos interdisciplinarios de profesionales; Odontólogos, Ingenieros, Químicos, Biólogos, entre otros. Por tanto, los profesionales que desarrollan estudios de Mecanobiología deben tener competencias especiales para abordar problemas de investigación, desarrollar nuevo conocimiento y aprender a comunicar sus ideas. De esta forma, la formación de los profesionales en esta área, está privilegiada por capacidades y competencias, más que en los conocimientos tradicionales que alberga la ingeniería, en este sentido.

IV. REFERENCIAS CIAS

- [1] Hanley N.A., Commonalities in the endocrinology of stem cell biology and organ regeneration, *Molecular and Cellular Endocrinology*, Vol. 288, No. 2, pp. 1-5, 2008.
- [2] Rincón-Mosquera, N., ¿Cómo pueden incidir el conocimiento, la investigación, la ciencias humanas y la industria en la bioingeniería del futuro?, *Ingeniería Solidaria*, Vol. 5, No. 9, pp. 90-94, 2009.
- [3] Sánchez, M., Formación y Adiestramiento en Traumatología y Cirugía Ortopédica, *Revista Española de Cirugía Osteoarticular*, Vol. 42, No. 232, pp. 139-180, 2007.
- [4] Garzón-Alvarado, D.A., Duque-Daza, C.A. y Ramírez – Martínez, A.M., Sobre la aparición de la biomecánica y la Mecanobiología computacional: experimentos computacionales y recientes hallazgos, *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, Vol. 28, No. 3, pp. 83-101, 2009.
- [5] Edwards, S.L., Church, J.S., Werkmeister, J.A. y Ramshaw, J.A.M., Tubular micro-scale multiwalled carbon nanotube-based scaffolds for tissue engineering, *Biomaterials*, Vol. 30, No.9, pp 1725-31, 2009.
- [6] Doblaré, M., Desde la Biomecánica computacional a la simulación en Mecanobiología, *III Congreso Internacional sobre Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias Aplicadas*, Barcelona España, pp. 73-89, 2004.
- [7] Huiskes, R. y Chao, E.Y.S. A survey of finite element analysis in orthopedic biomechanics: The first decade, *Journal of Biomechanics*, Vol. 16, No. 6, pp. 385-409, 1983.
- [8] Landínez-Parra, N., Garzón-Alvarado, D.A. y Narváez-Tovar, C.A., Una introducción a la Mecanobiología computacional, *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, Vol.30, No.3, pp. 368-389, 2011.
- [9] Van der Meulen Y M.C.H., Huiskes, R., Why Mechanobiology? *Journal of Biomechanic*, Vol. 35, No. 4, pp. 401-414, 2002.
- [10] Cano, J., Campo, J., Palacios, B. y Bascones, A., Mecanobiología de los huesos maxilares. I. Conceptos generales, *Avances en Odontoestomatología*, Vol. 23, No. 6, p.p. 347-358, 2007.
- [11] Narváez-Tovar, C.A., Velasco-Peña, M.A. y Garzón-Alvarado, D.A., Modelos computacionales de diferenciación y adaptación ósea, *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, Vol. 30, No.1, pp. 126-140, 2011.
- [12] Delgado-Calle J. y Riancho, J.A., Mecanobiología celular y molecular del tejido óseo, *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, Vol. 5, No. 1, pp. 51-56, 2013.
- [13] Ingber, D.E., Mechanobiology and diseases of mechanotransduction, *Annals of Medicine*, Vol. 35, No. 8, pp. 564-577, 2003.
- [14] Prendergast, P.J., Finite element models in tissue mechanics and orthopaedic implant design, *Clinical Biomechanics*, Vol. 12, No. 6, pp. 343-366, 1997.
- [15] Hsieh, A.H. y Twomey, J.D., Cellular mechanobiology of the intervertebral disc: New directions and approaches, *Journal of Biomechanics*, Vol. 43, No.1, pp. 137-145, 2010.
- [16] Knothe, M.L., Dolejs, S., McBride, S.H., Miller, R.M. y Knothe, U.R., Multiscale mechanobiology of de novo bone generation, remodeling and adaptation of autograft in a common ovine femur model, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Vol. 4, No. 6, pp. 829-840, 2011.
- [17] Tschumperlin, D.J., Boudreault, F. y Liu, F., Recent advances and new opportunities in lung mechanobiology, *Journal of Biomechanics*, Vol. 43, No. 1, pp. 99-107, 2010.
- [18] James, H., Wang, C. y Thampatty, B.P., Mechanobiology of Adult and Stem Cells, *International Review of Cell and Molecular Biology*, Vol. 271, pp. 301-346, 2008.
- [19] Lobo, E.G., Fang, T.D., Warren, S.M., Lindsey, D.P., Fong, K.D., Longaker, M.T. y Carter, D.R., Mechanobiology of mandibular distraction osteogenesis: experimental analyses with a rat model, *Bone*, Vol. 34, No. 2, pp. 336-43, 2004.
- [20] Villemure, I. y Stokes, I.A.F., Growth plate mechanics and mechanobiology. A survey of present understanding, *Journal of Biomechanics*, Vol. 42, No. 12, pp. 1793-1803, 2009.
- [21] Suresh, S., Biomechanics and biophysics of cancer cells, *Acta Biomaterialia*, Vol. 3, No. 4, pp. 413-438, 2007.
- [22] Vanegas-Acosta, J.C., Landínez, N.S., Garzón-Alvarado, D.A. y Casale, M.C., A finite element method approach for the mechanobiological modeling of the osseointegration of a dental implant, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 101, No. 3, pp. 297-314, 2011.
- [23] Vanegas-Acosta, J.C., Landínez-Parra, N.S. y Garzón-Alvarado, D.A., Mecanobiología de la interfase hueso-implante dental, *Revista Cubana de Estomatología*, Vol. 47, No. 1, pp. 14-36, 2010.
- [24] Moreo, P, García-Aznar, J.M. y Doblaré, M., Bone ingrowth on the surface of endosseous implants. Part 1: Mathematical model, *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 260, No. 1, 1-12, 2009.
- [25] Cano-Sánchez, J., Campo-Trapero, J., Restoy-Lozano, A. y Bascones-Martínez, A., Mecanobiología de los huesos maxilares. III. Regeneración ósea, *Avances en Odontoestomatología*, Vol. 24, No. 3, pp. 227-237, 2008.
- [26] Cárdenas-Sandoval, R.P., Garzón-Alvarado, D.A. y Peinado-Cortés, L.P., Mecanobiología de reparación del

ligamento, *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, Vol. 29, No. 1, pp. 155-169, 2010.

[27] Henneman, S., Von den Hoff, J.W. y Maltha, J.C, Mechanobiology of tooth movement, *European Journal of Orthodontics*, Vol. 30, No. 3, pp. 299-306, 2008

[28] Tanevitch, A., Batista, S., Durso, G., Abal, A., Anselmino, C. y Licata, L., Tipos de esmalte y su relación con la biomecánica, *Ciencias Morfológicas*, Vol. 10, NO. 1, pp. 9-14, 2008.

[29] González-Pérez, G., Liñán-Fernández, M., Ortiz-Villagómez, M., Ortiz-Villagómez, G., Del Real-López, A. y Guerrero-Lara, G., Estudio comparativo in vitro de tres acondicionadores de dentina para evaluar apertura de los túbulos dentinarios en conductos radiculares, *Revista Odontológica Mexicana*, Vol. 13, No. 4, pp. 217-223, 2009.