

Carácter interdisciplinario de la modelación computacional en la solución de problemas de salud

Interdisciplinary character of the computational model in the solution of health problems

Raide Alfonso González Carbonell,^I Elsa Nápoles Padrón,^{II} Bernardo Calderín Pérez,^{III} Yosbel Cisneros Hidalgo,^{IV} Matilde Landín Sorí^V

- I. Doctor en Ciencias Técnicas. Ingeniero Mecánico. Profesor Titular. Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte y Loynaz”. Departamento de Ingeniería Mecánica. Grupo de Bioingeniería y Biomecánica. Circunvalación Norte, Km 5½, Camagüey, Cuba. C.P. 74670. raide.gonzalez@reduc.edu.cu
- II. Doctor en Ciencias Pedagógicas. Ingeniero Mecánico. Profesor Titular y Consultante. Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte y Loynaz”. Departamento de Ingeniería Mecánica. Grupo de Bioingeniería y Biomecánica. Circunvalación Norte, Km 5 ½, Camagüey, Cuba. C.P. 74670. elsa.napoles@reduc.edu.cu
- III. Ingeniero Mecánico. Centro Provincial de Electromedicina. Departamento de Laboratorio Clínico y Óptica. Avenida Hospital No. 2, e/ B y C, Reparto Sánchez Soto, Camagüey, Cuba. C.P. 70700. bercalper@cicem.cmw.sld.cu
- IV. Ingeniero Mecánico. Profesor Instructor. Departamento de Ingeniería Mecánica. Grupo de Bioingeniería y Biomecánica. Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte y Loynaz”. Circunvalación Norte, Km 5½, Camagüey, Cuba. C.P. 74670. yosbel.cisnero@reduc.edu.cu
- V. Doctora en Ciencias Médicas. Doctora en Medicina. Especialista de II Grado en Oftalmología. Profesora e Investigadora Titular. Hospital Universitario “Manuel Ascunce Domenech”. Centro Oftalmológico. Carretera Central Oeste, Km 4½, Camagüey, Cuba. C.P. 70700. mlandin@finlay.cmw.sld.cu

RESUMEN

La solución de los problemas de salud requiere de la interrelación entre diferentes ramas científicas y tecnológicas, tales como la Biomecánica, las tecnologías de la información, la ingeniería y las ciencias médicas. La importancia de la comunicación interdisciplinaria en las universidades fundamenta la creación de un grupo de investigación que fusiona el conocimiento de la mecánica clásica con las disciplinas de la salud y la participación de pacientes, técnicos, ingenieros, médicos y estudiantes. En el trabajo se realiza una reflexión sobre el carácter interdisciplinario de las investigaciones, cómo se inserta la Ingeniería Mecánica desde la modelación en la solución de problemas de salud y se brindan algunos resultados obtenidos por los miembros del Grupo de Biomecánica y Bioingeniería de la Universidad "Ignacio Agramonte y Loynaz" de Camagüey.

Palabras clave: comunicación interdisciplinaria, fenómenos biomecánicos, simulación por computador, salud pública.

ABSTRACT

The solution of health problems require an interrelation between different scientific and technological branches, such as biomechanics, information technologies, engineering and medical sciences. The importance of the interdisciplinary communication in universities lays the base on the creation of an investigative group that fuses the knowledge of classic mechanic with the disciplines of medicine and the participation of patients, technicians, engineers, doctors and students. A reflection about the interdisciplinary character of investigations and how mechanic engineering is inserted in the model to solve health problems is carried out in this work. Some results obtained by the members of the Biomechanics and Bioengineering Group of "Ignacio Agramonte y Loynaz" University are offered.

Keywords: interdisciplinary communication, biomechanical phenomena, computer simulation, public health.

INTRODUCCIÓN

El hombre desde sus inicios ha intentado entender el entorno que lo rodea, así como su propio cuerpo. Grandes científicos basaron sus teorías en modelos de los problemas reales, surge así el método científico de la modelación que actualmente constituye la base de un gran número de investigaciones en diferentes ramas del conocimiento científico.¹

No es de extrañar que cada vez más las disciplinas científicas estudien los fenómenos mediante modelos. En algunas esferas de la ciencia también constituyen estados deseados o metas a alcanzar.

Un suceso tecnológico de mediados del siglo pasado permitió resolver un gran número de problemas en un corto período de tiempo, las computadoras. En la actualidad las ciencias informáticas, mediante la simulación computacional, permiten compartir información, resolver problemas complejos, controlar procesos y realizar otras funciones relacionadas con todas las ramas del saber.

Un tema que distingue a la sociedad de principios del milenio lo constituye la salud y la calidad de vida de los ciudadanos. Con la finalidad de comprender, definir y resolver problemas de la medicina y la biología en función de la salud, en muchos casos se aplican principios y métodos de la ingeniería.²

El estudio de los mismos denota su carácter inter y transdisciplinario que se logra con la integración de métodos y técnicas de varias disciplinas.

En este trabajo se realiza una reflexión sobre el carácter interdisciplinario de las investigaciones, cómo se inserta la Ingeniería Mecánica desde la modelación en la solución de problemas de salud y brindar algunos resultados obtenidos por los miembros del Grupo de Biomecánica y Bioingeniería (GBB) de la Universidad "Ignacio Agramonte y Loynaz" de Camagüey.

DESARROLLO

La investigación interdisciplinaria en las universidades

Desde el siglo pasado el entrecruzamiento de diferentes disciplinas condicionó el surgimiento de la interdisciplinariedad. Muchas de las ciencias y las tecnologías que tienen mayor

impacto en el comienzo del milenio tienen un carácter interdisciplinario, como la biotecnología, las ciencias cognoscitivas y las tecnologías de la información.

Las investigaciones en las universidades recibieron un nuevo impulso en 1998 cuando en la Conferencia Mundial de la Educación Superior, auspiciada por la UNESCO y con la participación de la mayoría de los países del mundo, se aprobó unánimemente la Declaración Mundial sobre la Educación Superior en el siglo XXI, donde se plantea la función esencial en todos los sistemas de educación superior y que deben fomentarse y reforzarse la innovación, la interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad, en los programas.³

La investigación interdisciplinaria se puede definir como la integración del sistema de conocimientos y la metodología entre dos o más disciplinas.

Las universidades, como centros formadores de profesionales para la sociedad, tienen un papel relevante en el desarrollo científico-tecnológico y una formación de alto nivel. Los modelos académicos de este siglo muestran como tendencia las funciones de las mismas: formación de profesionales, de investigación, postgrado y la extensionista. Atendiendo al lugar primordial que ocupa la investigación científica, se definen dos tipos de universidades: las que investigan e imparten docencia, y donde no se realizan estas funciones.

Existen otras clasificaciones a nivel internacional, como el modelo investigativo al que pertenecen universidades con grupos de investigación consolidados, con un número elevado de artículos científicos en revista indexadas de mayor visibilidad internacional, fuerte presencia en el posgrado y que reciben un financiamiento alto, tanto público como privado. Otro modelo es el modelo empresarial, que se orienta a la formación de recursos de las empresas, donde la investigación es muy débil o nula.

Un ejemplo de desarrollo en la educación superior, contrapuesto a las tendencias neoliberales, ratifica la responsabilidad social y la pertinencia social del conocimiento universitario.

Según Núñez Jover,⁴ no solamente es necesario impulsar investigaciones con el carácter que impone el propio desarrollo de la ciencia y la tecnología, sino que el conocimiento universitario debe estar en función de los problemas de la sociedad y acuña el término de pertinencia social. La solución de los mismos es de naturaleza compleja por lo que requieren de un enfoque inter y transdisciplinario.

Varias son las experiencias en universidades para impulsar este desarrollo, como la creación de institutos, departamentos o grupos de investigación, que de una forma u otra tengan entre sus objetivos abordar proyectos investigativos con un enfoque interdisciplinario a fin de dar respuesta a los problemas sociales, como es el caso de un estudio sobre el Alzheimer que vincula la biomedicina y las neurociencias.⁵

Relación entre Medicina e Ingeniería Mecánica en los problemas de salud

Uno de los objetivos del milenio a nivel mundial lo constituye la salud de cada uno de sus pobladores y su preservación. Con esta premisa en Cuba se deben brindar servicios de salud con calidad a los ciudadanos y se trabaja intensamente para continuar el desarrollo del sector, tanto en los servicios a la población, como en la docencia e investigación, lo que ha dado como resultado que los servicios de los especialistas de salud sean solicitados en muchos países por sus conocimientos y profesionalidad.

En los programas de salud y en las universidades están presentes líneas de investigación que entrelazan varias disciplinas científicas, tecnológicas y sociales. Tal es el caso de las que relacionan la Ingeniería Mecánica y la salud, como la Bioingeniería, la Biomecánica y la Mecanobiología.

La Bioingeniería o Ingeniería Biomédica, entendida en sentido amplio, aplica los principios y métodos de la ingeniería a la comprensión, definición y resolución de problemas de Biología y Medicina. La Biomecánica se refiere al estudio de las tensiones y deformaciones de tejidos biológicos desde un enfoque fenomenológico, y la Mecanobiología, a la actividad celular producto de estímulos físicos, como la migración celular, la mecanotaxis y la remodelación ósea.⁶

Doblaré Castellanos⁷ plantea que la Modelación de Materiales, disciplina propia de la Ingeniería Mecánica, tiene uno de sus mayores retos en simular el comportamiento de tejidos biológicos, con énfasis en la relación entre los procesos biológicos, bioquímicos y mecánicos, y entre los tejidos biológicos y los biomateriales implantados.

La simulación computacional en estos casos permite el acercamiento de varias disciplinas científicas, en un lenguaje común, con el propósito de predecir el comportamiento del objeto observado, sin el predominio del lenguaje de una especialidad, sino con un enfoque transdisciplinar.

En la modelación de tejido biológico se emplean los principios de la mecánica clásica. Los modelos mecánicos están definidos por el modelo de carga (interacción entre los elementos), el de material (leyes, principios e hipótesis) y el geométrico. La diferencia consiste en que los tejidos biológicos son dinámicos ya que los mismos cambian su forma y propiedades en el tiempo y deben actualizarse durante la modelación.⁸

Este comportamiento se debe tener en cuenta para evitar errores en la definición del modelo y a partir de ello establecer el ciclo dinámico de la modelación de los tejidos (Figura):

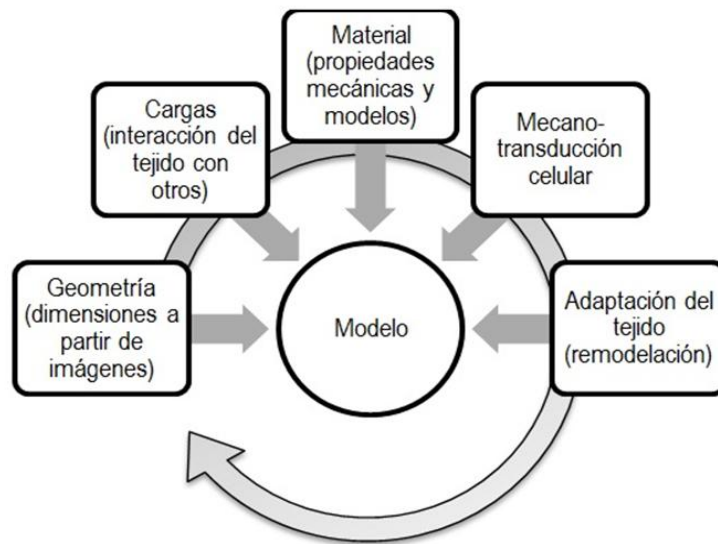


Fig.1. Ciclo dinámico en la modelación de tejido biológico

Fuente: Elaborado por Raide A. González Carbonell, 2013.

El GBB de la Universidad “Ignacio Agramonte y Loynaz” de Camagüey. Su creación y principales resultados

La creación del grupo de investigación parte de un modelo de universidad que subraya la pertinencia social y la responsabilidad social de la universidad. Su prioridad es el desarrollo sostenible basado en el conocimiento y sus resultados deben tener un fuerte impacto social y de formación de alto nivel relevante.

Para lograr estos fines fue preciso, en primer lugar, la definición del problema social, la selección de las disciplinas que se entrelazan para darle solución y la elección de los actores que la ejecutan. Los integrantes del grupo son profesores y estudiantes de pregrado y de posgrado de la carrera (maestría en Ingeniería Mecánica). En las investigaciones participan

además especialistas en Medicina, técnicos de la salud y los pacientes. Esta interacción ha dado como resultado una comunicación interdisciplinaria efectiva, un enriquecimiento mutuo, tanto de las disciplinas como de los participantes, y una transformación metodológica de la investigación que ya no es disciplinar.

Entre los problemas de salud que se estudian actualmente en el grupo se encuentran la torsión tibial y el glaucoma.

El desarrollo del tacón de torque, la modelación en el diagnóstico y duración del tratamiento de la torsión tibial, y el estudio de la severidad del daño glaucomatoso sobre los tejidos del nervio óptico, están entre las aplicaciones y resultados que desarrolla el grupo.

Torsión Tibial: Desarrollo del tacón de torque. Un resultado de bioingeniería

Durante el crecimiento los niños desarrollan su estructura ósea, modifican las propiedades biomecánicas y corrigen las desviaciones rotacionales en piernas y brazos producto de la posición intrauterina del feto. Sin embargo, se puede apreciar que existen varias deformaciones de los miembros inferiores que limitan la marcha normal.

La torsión tibial consiste en la rotación interna o externa de la tibia, la cual se puede corregir mediante dispositivos ortopédicos o cirugía. Los ortopédicos eligieron el diseño de un dispositivo corrector por lo que en el grupo se realizó una investigación de bioingeniería para la obtención de un nuevo dispositivo ortopédico llamado tacón de torque. En este resultado participaron especialistas en Ortopedia Infantil, técnicos de la salud del Taller Provincial de Ortopedia, padres de niños, tecnólogos de empresas industriales, estudiantes de pregrado y postgrado y profesores-investigadores. La modelación permitió evaluar la resistencia del dispositivo ante las cargas dinámicas del proceso de marcha. La contribución de todos dio origen a la forma del diseño del dispositivo que posibilitó desarrollar esta invención.⁹

La modelación en el diagnóstico y duración del tratamiento. Un ejemplo de Mecanobiología

Los ortopédicos en Cuba no pueden diferenciar el grado de deformación de la torsión tibial del paciente para indicar el torque corrector o la duración del tratamiento. Los métodos de diagnóstico de la deformidad lo realizan con métodos visuales y aplican valores de carga empíricos.

Para determinar la duración del tratamiento y del valor de la carga a aplicar, se hace necesario estudiar el efecto de cargas de torsión sobre la remodelación ósea mediante la modelación mecanobiológica, considerando la actividad celular y el grado de mineralización del hueso en desarrollo.

El hueso es un tejido conectivo mineralizado muy vascularizado. Está constituido por células y matriz extracelular mineralizada dentro de la cual está contenida la mayoría de las células. Los osteoblastos, osteocitos, osteoclastos, las células del suministro neurovascular, las células del periostio, endostio, y la médula ósea, constituyen el componente celular del hueso.¹⁰

Los huesos renuevan su estructura constantemente, cambiando tejido viejo por nuevo. En dependencia del lugar y como ocurra este proceso se denomina modelación o remodelación ósea. Estos procesos ocurren de manera balanceada en ubicaciones dentro del hueso en el transcurso del tiempo. Se estima que el hueso se renueva cada 10 años.⁶

La remodelación ocurre cuando en el mismo lugar se elimina el hueso viejo y se forma el nuevo, mientras que la modelación sucede cuando no coincide la ubicación de eliminación y creación de tejido nuevo.¹¹

Los huesos se remodelan y adaptan su estructura interna y forma externa según las condiciones de carga a las que se someten. La base de esta afirmación lo constituye la Ley de Wolff,¹² que establece una relación entre la arquitectura con la dirección de las tensiones principales.

En la remodelación ocurren tres procesos, activación, reabsorción y formación. Cuando los osteoclastos llegan a la superficie del hueso comienza la reabsorción, formando lagunas de Howship en el tejido trabecular y corta conos en el tejido cortical.

La naturaleza del estímulo incide en la respuesta biológica. Turner¹³ enuncia tres reglas para que ocurra la adaptación ósea: la adaptación se activa más cuando las cargas tienen carácter dinámico, la duración del estímulo no tiene que ser prolongado, y las células se reacomodan y adaptan al estímulo para ir disminuyendo la respuesta a la adaptación. En el estudio desarrollado por Chen *et al.*¹⁴ se demuestra la influencia de la frecuencia de la carga en la adaptación ante el estímulo mecánico. Los modelos mecanobiológicos parten de la hipótesis de que los osteocitos captan las deformaciones transversales y envían la señal a los osteoblastos y osteoclastos a remodelar el hueso.

En el GBB se realiza el estudio de las propiedades anisotrópicas (propiedades mecánicas diferentes en todas direcciones) del tejido óseo en función de la densidad aparente de la actividad celular en el proceso de remodelación y crecimiento del hueso, así como la influencia de parámetros geométricos, físicos, biológicos y mecánicos del modelo en el proceso de remodelación ósea.

Glaucoma: un estudio con la Biomecánica como herramienta investigativa

El glaucoma es un conjunto de afecciones visuales, cuyo signo más común es el aumento de la presión intraocular (PIO) por encima de las posibilidades defensivas del nervio óptico.¹⁵

La Organización Mundial de Salud (OMS) reportó que 4,5 millones de personas padecían glaucoma en el 2009, con proyecciones de 11 millones de afectados para el 2020; si bien la enfermedad es incurable, un 90 % de la ceguera que provoca podría evitarse mediante la detección temprana y tratamiento.¹⁶

En Cuba, Landín y Romero¹⁷ han diseñado y propuesto una estrategia de intervención sanitaria en pacientes con glaucoma neovascular que hace énfasis en la promoción de la salud y en la prevención de la enfermedad.

La PIO alta es el principal factor de riesgo para desarrollar el glaucoma, se considera como la relación entre la producción y la eliminación del humor acuoso dentro del globo ocular. Se determina fundamentalmente mediante tonometría de aplanación, considerándose valores normales entre 10 y 21 mmHg. Esta prueba, en conjunto con la medición del campo visual, oftalmoscopia, gonioscopia, tomografía y otros, constituyen los métodos más comunes de exploración de la enfermedad.¹⁸

El glaucoma va dañando las estructuras internas del ojo, principalmente genera una pérdida progresiva de la capa de fibras neuroretinianas y produce excavaciones en la papila óptica o disco óptico; en la medida que aumenta la presión.¹⁹

En la actualidad solo las pruebas funcionales son las únicas que proporcionan una valoración adecuada del efecto de la PIO sobre el disco óptico; pero lo más peligroso con relación a esta patología es que las personas pueden estar sufriendo daño en las estructuras internas del ojo sin presentar problemas de visión o sin ser diagnosticada la enfermedad concretamente.²⁰

Esto se debe en gran medida a que se desconoce cuál es el valor, o rango de valores, de presión donde el daño sobre las fibras neuroretinianas deviene como defecto en el campo visual para una persona o grupo de personas.

El gran número de afectados por esta patología y su crecimiento son de interés global, lo que ha desencadenado varias líneas de investigación interdisciplinarias dirigidas hacia la evolución de los métodos de diagnóstico y tratamiento, con énfasis en la prevención de esta enfermedad tan perniciosa. Estos estudios novedosos y multidisciplinarios no están exentos de la aplicación de herramientas computacionales y por supuesto, de modelos biomecánicos.

En los trabajos actuales han tenido mucha influencia los experimentos de Belleza *et al.*,²¹ pues demuestran que las fibras neuroretinianas están constantemente sometidas a altas tensiones, incluso para niveles normales de PIO, concluyendo que la región de la lámina cribosa y el canal escleral son los más susceptibles a los daños por la acción de la presión.

Los investigadores han centrado su atención en la deformación de la lámina cribosa, como elemento encargado de soportar la presión intraocular, y en la esclera peripapilar, debido a la influencia de su espesor y rigidez en la respuesta biomecánica del nervio óptico; aunque el tamaño del ojo y los niveles de PIO también repercuten considerablemente.²¹

En el GBB se trabaja para incorporar el estudio de la biomecánica de la cabeza del nervio óptico y evaluar la severidad del daño en el diagnóstico del glaucoma.

CONCLUSIONES

La investigación interdisciplinaria, congruente con las necesidades del siglo XXI, puede y debe propiciar resultados importantes, de impacto social, presupone un nuevo estilo de trabajo científico, y en algunos casos, nuevas estructuras organizativas.

La solución de problemas de salud mediante la modelación mecánica de tejidos biológicos constituye un reto para el GBB debido a la concurrencia del conocimiento multi e interdisciplinar. La participación colectiva de diferentes especialistas permite obtener resultados más fiables, ya que el éxito de la simulación consiste en la definición correcta del modelo.

Se mostraron tres ejemplos de los que hoy investiga el GBB, dos sobre la torsión tibial y uno relacionado con el glaucoma. A medida que se avanza en estas investigaciones aparecen

nuevos problemas científicos y en su solución interviene la modelación mecánica de tejidos biológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. González Carbonell R, Nápoles Padrón E, Oropesa Rodríguez Y. PBL y Resistencia de Materiales: experiencia en la Universidad de Camagüey. En: UNAICC, editor. Actas de la XXXIII Convención Panamericana de Ingenierías; 9-13 Abr 2012; La Habana, Cuba. La Habana: UNAICC; 2012.
2. Humphrey D, Holzapfel GA. Mechanics, mechanobiology, and modeling of human abdominal aorta and aneurysms. J Biomech [Internet]. 2012 [cited 2014 Feb 20];45(5):805-14. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3294195/>
3. UNESCO. Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo XXI: Visión y Acción [Internet]. París: UNESCO; 1998 [citado 22 May 2013]. Disponible en: http://www.unesco.org/education/educprog/wche/declaration_spa.htm
4. Núñez Jover J. La Universidad y sus compromisos con el conocimiento, la ciencia y la tecnología. En: Cuba. Ministerio de Educación Superior, editor. Actas del VIII Congreso Internacional de Educación Superior, Universidad 2012; VII Taller Internacional Universidad, Ciencia y Tecnología; 13-17 Feb 2012; La Habana, Cuba. La Habana: MES; 2012. p. 71-80.
5. Pardon MC. The need for and challenges of interdisciplinary research in biomedical neurosciences: Alzheimer's disease as a critical example. In: Karanika-Murray M, Wiesemes R, editors. Exploring Avenues to Interdisciplinary Research: From Cross-to Multi-to Interdisciplinary. Nottingham: Nottingham University Press; 2009. p. 141-53.
6. Delgado-Calle J, Riancho J. Mecanobiología celular y molecular del tejido óseo. Rev Osteoporos Metab Miner [Internet]. 2013 [citado 20 Feb 2014];5(1):51-6. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/romm/v5n1/revision2.pdf>
7. Doblaré Castellano M. Retos y oportunidades de la investigación transdisciplinar: Reflexión sobre el papel de la Mecánica de Materiales en Biomedicina [Internet]. Zaragoza: Real Academia de Ingeniería; 2008 [citado 20 Feb 2014]. Disponible en: <http://oa.upm.es/25541/1/Retos.pdf>

8. Khayyeri H, Isaksson H, Prendergast PJ. Corroboration of computational models for mechanoregulated stem cell differentiation. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2013;18(1):15-23.
9. González R, Álvarez E, inventors; Universidad de Camagüey, assignee. Orthopedic Appliance for tibiae torsion treatment. Patente de Cuba 23677. 2011.
10. Jayakumar P, Di Silvio L. Osteoblasts in bone tissue engineering. *Proc Inst Mech Eng H.* 2010;224(12):1415-40.
11. Hamblil R. A quasi-brittle continuum damage finite element model of the human proximal femur based on element deletion. *Med Biol Eng Comput [Internet].* 2013 [cited 2014 Feb 20];51(1-2):219-31. Available from: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00837713/document>
12. Wolff J. *The Law of Bone Remodelling.* Berlin: Springer Berlin Heidelberg; 1986.
13. Turner CH. Three rules for bone adaptation to mechanical stimuli. *Bone.* 1998;23(5):399-407.
14. Chen XY, Zhang XZ, Guo Y, Li RX, Lin JJ, Wei Y. The establishment of a mechanobiology model of bone and functional adaptation in response to mechanical loading. *Clin Biomech.* 2008;23 Suppl 1:S88-95.
15. Lorenzo Ojeda E, Suárez Pérez JC. Espesor Corneal Central en el Glaucoma Crónico Simple. *Rev Cub Med Mil [Internet].* 2012 [citado 13 Feb 2013];41(2):160-6. Disponible: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0138-65572012000200006&script=sci_arttext&lng=en
16. Centro de Noticias de la ONU. Día Mundial del Glaucoma: OMS reporta 4,5 millones de afectados por la enfermedad. Centro de Noticias de la ONU [Internet]. 2009 Mar 12 [citado 20 Ene 2014]. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/News/story.asp?newsID=15026&criteria1=glaucoma#.VGpAJaJHOhp>
17. Landín Sorí M, Romero Sánchez RE. Estrategia de intervención sanitaria en pacientes con glaucoma neovascular. *Rev Hum Med [Internet].* 2012 [citado 2 Abr 2013];12(1):1-8. Disponible: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-81202012000100001&lng=es&nrm=iso
18. Geimer S. Glaucoma diagnostics. *Acta Ophthalmol.* 2013;91:1-32.
19. Quigley HA, Cone FE. Development of diagnostic and treatment strategies for glaucoma through understanding and modification of scleral and lamina cribrosa connective tissue.

Cell Tissue Res [Internet]. 2013 [cited 2014 Feb 20];353(2):231-44. Available from:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3716834/>

20. Poostchi A, Wong T, Chan KCY, Kedzlie L, Sachdev N, Nicholas S, et al. Optic Disc Diameter Increases during Acute Elevations of Intraocular Pressure. Invest Ophthalmol Vis Sci [Internet]. 2010 [cited 2013 May 22];51(5):2313-6. Available from:

<http://www.iovs.org/content/51/5/2313.full?cited-by=yes&legid=iovs:51/5/2313>

21. Belleza AJ, Hart RT, Burgoyne CF. The Optic Nerve Head as a Biomechanical Structure: Initial Finite Element Modeling. Invest Ophthalmol Vis Sci [Internet]. 2000 [cited 2013 May 22];41(10):2991-3000. Available from: <http://www.iovs.org/content/41/10/2991.long>

Recibido: 18/05/2014

Aprobado: 30/09/2014

Raide Alfonso González Carbonell. Doctor en Ciencias Técnicas. Ingeniero Mecánico. Profesor Titular. Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte y Loynaz”. Departamento de Ingeniería Mecánica. Grupo de Bioingeniería y Biomecánica. Circunvalación Norte, Km 5½, Camagüey, Cuba. C.P. 74670. raide.gonzalez@reduc.edu.cu