

Construcción de Modelo 3D de Árbol Traqueobronquial para la Enseñanza Aprendizaje de la Anatomía Macroscópica Humana

Construction of a 3D Model of the Tracheobronchial Tree for Teaching Learning Human Gross Anatomy

Janneth Zuñiga¹; Alexander Barragán-Acosta²; Daniel Solís Ríos³; Paulo Calvo³ & Sonia Osorio Toro¹

ZUÑIGA, J.; BARRAGÁN-ACOSTA, A.; SOLÍS, R. D.; CALVO, P. & OSORIO T. S. Construcción de modelo 3D de árbol traqueobronquial para la enseñanza aprendizaje de la Anatomía Macroscópica Humana. *Int. J. Morphol.*, 42(6):1793-1800, 2024.

RESUMEN: La Anatomía Humana es definida como la ciencia de las formas y de las estructuras del cuerpo humano, este estudio permite conocer el nombre de las estructuras, su ubicación, la forma, su relación con otras piezas y su función general. La Anatomía Macroscópica Humana (AMH) hace referencia al estudio de las estructuras corporales que pueden ser examinadas sin un microscopio. Entre las diferentes propuestas para su enseñanza, se encuentra la modelización, considerada como pieza clave en la educación científica puesto que promueve el aprender a aprender a través del desarrollo; asimismo exige diferentes competencias y procesos relacionados con la investigación científica. Por ello, se propuso diseñar e implementar un protocolo para la construcción de modelos 3D de órganos huecos, como lo es el árbol traqueobronquial para la enseñanza-aprendizaje de la Anatomía Macroscópica Humana. El modelado del árbol traqueo bronquial humano logró representar los respectivos bronquios principales, lobares, segmentales y bronquiolos respiratorios; además, logró emular la inervación del nervio vago en el modelo del árbol traqueobronquial de cerdo. El modelo 3D implementado permitió diferenciar la textura de la tráquea y bronquios presentes en esta región anatómica, con una representación correlacionada de la forma y función de las estructuras contrastando los bloques broncopulmonares del cerdo y del humano. La integración de la ingeniería biomédica permitió mediante el uso de la tecnología emular la red nerviosa del X par craneal realizando su recorrido desde su origen aparente hasta los bronquios. La modelización del árbol traqueobronquial permitió representar la forma, relación y función de las estructuras pulmonares, a través de una estructura tridimensional, permitiendo diferenciar la compleja ubicación espacial de estas estructuras. La metodología desarrollada para la construcción del modelo será una herramienta de laboratorio que mejorará la adherencia en el aprendizaje y el uso médico.

PALABRAS CLAVE: Modelo 3D; Anatomía Humana; Enseñanza; Aprendizaje.

INTRODUCCIÓN

La Anatomía Humana ha sido definida por Latarjet & Ruiz Liard (2013) como la ciencia de las formas y de las estructuras del cuerpo humano, el término anatomía es una derivación del griego *anatémnein*, que significa diseccionar o descomponer (Lippert, 1996). Su estudio permite conocer el nombre de las estructuras, su ubicación, la forma, su relación con otras piezas y su función general, aspectos que resultan básicos para comprender el funcionamiento del cuerpo humano. En otras palabras, la anatomía posee un lenguaje propio que facilita la comunicación entre los profesionales del área de la salud alrededor del mundo.

Una herramienta fundamental en esta ciencia ha sido la disección cadavérica, utilizada para estudiar el cuerpo humano mediante el corte, la separación, la descomposi-

ción del todo para poner al descubierto las estructuras que lo conforman, así se ha entendido a lo largo de los años (Montemayor Flores, 2006). Particularmente, la Anatomía Macroscópica Humana (AMH) hace referencia al estudio de las estructuras corporales que pueden ser examinadas sin un microscopio. Tradicionalmente, la enseñanza de la AMH, se ha realizado con clases teóricas, en la que el profesor es el protagonista, encargado de transmitir su conocimiento, seguido de actividades prácticas generalmente en un anfiteatro o laboratorio en el que los estudiantes observan las estructuras del cuerpo humano utilizando diferentes modelos, como son cadáveres humanos, órganos animales, impresiones tridimensionales (3D), aplicaciones 3D, entre otros (Moro *et al.*, 2017; Zibis *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2017).

¹ Departamento de Morfología, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

² Programa de Medicina, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

³ Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica, G-Bio., Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Cali, Colombia.

Existen diferentes propuesta para la enseñanza de las ciencias, dentro de las que se encuentra la modelización, ésta ha sido considerada como pieza clave en la educación científica puesto que promueve el aprender a aprender, constituyendo un proceso complejo cuyo desarrollo exige diferentes competencias y procesos relacionados con la investigación científica como son la identificación de problemas, formulación de hipótesis, búsqueda de información, elaboración de nuevas ideas y explicaciones entre otros (Oliva Martínez *et al.*, 2018). Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue diseñar un protocolo para la construcción de modelos 3D de órganos huecos, como lo es el árbol traqueobronquial para la enseñanza-aprendizaje de la Anatomía Macroscópica Humana.

MATERIAL Y MÉTODO

El trabajo se enmarca en el proyecto de investigación titulado Modelos 3D para la enseñanza y aprendizaje de la Anatomía Macroscópica Humana, y cuenta con el aval del Comité Institucional de Ética Humana de la Universidad del Valle (código 016-023). La metodología de trabajo utilizada para la construcción del modelo reportado en el presente artículo, se realizó en 3 etapas así: I. Revisión bibliográfica en bases de datos indexadas, con el propósito de identificar las principales técnicas de manufactura utilizadas en la creación de modelos anatómicos 3D. II. El desarrollo del modelo anatómico integrando conceptos de manufactura. III. Validación con un grupo focal empleando la metodología de estudio de caso, reportada por Yin en 2014.

Inicialmente se realizó una búsqueda de información en diferentes bases de datos como son Ovid, PubMed y Journal Academy, utilizando como palabras clave: modelo, vías aéreas y técnicas anatómicas. Esta revisión permitió identificar las principales técnicas anatómicas utilizadas en la creación de modelos anatómicos 3D. El desarrollo del modelo anatómico 3D del árbol traqueobronquial se llevó a cabo tres fases.

Fase I: Identificación de necesidades. Por medio de una encuesta realizada a estudiantes de tercer semestre del programa académico de Medicina y Cirugía, matriculados en la asignatura de Anatomía Humana Macroscópica II de la Universidad Del Valle y cuatro profesores de la misma asignatura, se identificaron las percepciones frente al estudio en modelos anatómicos tridimensionales convencionales. Posteriormente se realizó una búsqueda de modelos anatómicos del árbol traqueobronquial que se encuentran actualmente en el mercado, con el fin de analizar su estructura, material y precio. Algunos de los modelos que se utilizan para la enseñanza y aprendizaje de la AMH representan altos costos, errores en la ubicación de las estructuras y difícil accesibilidad.

Fase II: Diseño de protocolo para la construcción del modelo 3D. Inicialmente se realizó una revisión de la literatura para comprender la descripción anatómica del árbol traqueobronquial, posterior a ello se observaron las piezas anatómicas humanas en estado de conservación de diez cuerpos pertenecientes al Anfiteatro de la Universidad del Valle. Para diferenciar e identificar las estructuras, observar la variabilidad morfológica de la pieza anatomica de interés y diferenciar los tamaños, texturas y relación de las estructuras anatómicas; Seguidamente, se realizó el reconocimiento y disección del árbol traqueobronquial de ocho bloques torácicos de cerdo, además de un ejercicio de anatomía comparada entre estas estructuras y las de los cadáveres humanos.

Para lograr la construcción del modelo del árbol traqueobronquial, se realizaron actividades experimentales con cuatro bloques torácicos de cerdo a los que se les realizó perfusión vía traqueal con diferentes tipos de materiales como silicona industrial y poliuretano al 10 %.

La perfusión del material se realizó con jeringas de 240 ml que fueron llenadas a su capacidad máxima, al observar que el material había llenado todo el bloque se procedió a dejarlo fijo durante 90 minutos para que el material pudiera perfundir las vías aéreas y llegar a todos los espacios posibles. Pasado el tiempo indicado, los bloques se sometieron a un proceso isocoro durante dos horas a una temperatura de 80 °C. Posteriormente, se realizó una debridación manual con ayuda de pinzas (disección del tejido circundante de la estructura), logrando obtener una representación de las vías aéreas inferiores.

La actividad experimental permitió identificar que el poliuretano reducido al 10 % era el material idóneo para realizar el modelo del árbol traqueobronquial, puesto que resiste altas temperaturas, además de cumplir con estándares y normas de calidad como ASTM C 920, Tipo S, Grado NS, Clase 50. Clasificación: ISO 11600 F 25 LM, ISO 11600 G 25 LM (Estrada Portilla & Infanzon Areche, 2021). En la Figura 1 se detalla el protocolo de construcción del modelo 3D.

El equipo de bioseguridad es fundamental para proteger a las personas de la exposición a microorganismos y sustancias peligrosas durante el trabajo en entornos de riesgo, como laboratorios, anfiteatros, hospitales y otros lugares donde se manipulan materiales biológicos o químicos. Los elementos de bioseguridad usados para la práctica fueron: guantes de nitrilo para proteger las manos de la exposición a microorganismos y sustancias químicas; mascarillas para proteger las vías respiratorias de la inhalación de partículas, aerosoles o gases peligrosos; gorro quirúrgico para prevenir la contaminación de la cabeza por diferentes sus-

tancias; gafas de seguridad para proteger los ojos y el rostro durante actividades que puedan implicar salpicaduras o fuertes impactos; bata de laboratorio para proteger al personal médico de posibles salpicaduras de fluidos corporales u otras sustancias durante los procedimientos en el anfiteatro; calzado cerrado, que ayuda a prevenir lesiones en los pies causadas por objetos punzantes, caídas de equipos o materiales pesados, o salpicaduras de fluidos.

También se utilizó un equipo de disección para la adecuada debridación del tejido e identificación de estructuras. El equipo se componía de: a) Cinta métrica de tela (para medir la estructura anatómica); b) tijeras Metzenbaum para la disección anatómica y procedimientos quirúrgicos, sus hojas delgadas y puntas finas son ideales para el corte

de tejidos blandos y delicados, como músculos o vasos sanguíneos y cartílago (En este caso, el tejido circundante al parénquima pulmonar); c) pinza de disección con dientes, instrumento utilizado en cirugía y disección para agarrar y manipular tejidos o estructuras; los dientes en las puntas de la pinza proporcionan un agarre más firme y seguro de los tejidos; d) pinza de disección sin dientes que se utilizó para manipular tejidos o estructuras más delicadas donde se requería un agarre suave y sin dañar el tejido; e) bisturí calibres 6 y 8, utilizados para hacer incisiones en la piel o tejidos, a un calibre más bajo, una hoja más gruesa, así pues, el bisturí 6 se usó para el corte de tejido pulmonar y el 8 para el corte de tejido cartilaginoso de la tráquea; f) tijeras curvas que permitieron cortar tejidos o estructuras en áreas de difícil acceso o con formas irregulares.

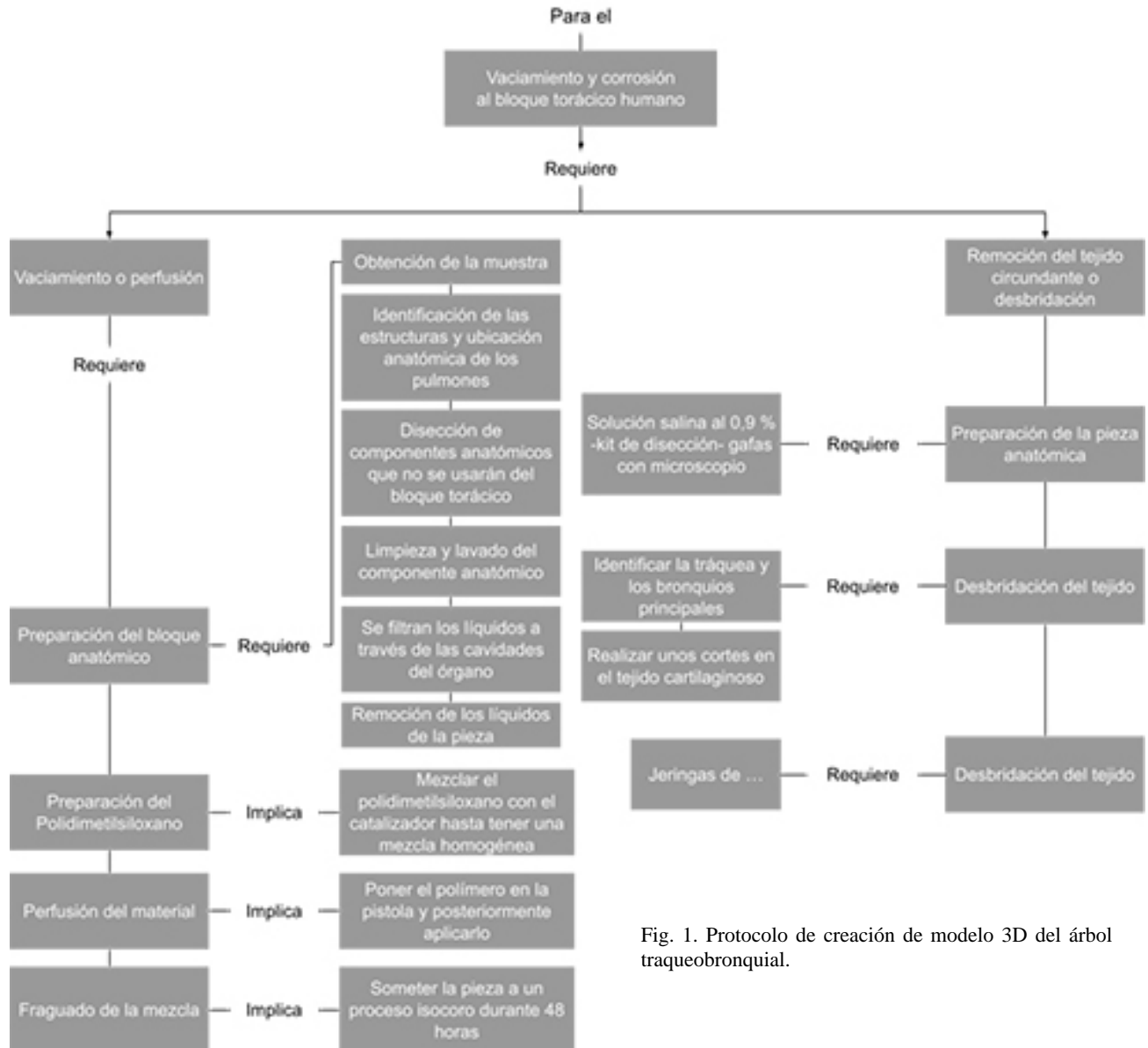


Fig. 1. Protocolo de creación de modelo 3D del árbol traqueobronquial.

Fase III: Etapa de bioinstrumentación. Para esta fase, inicialmente se realizó una disección de un bloque torácico humano en estado de conservación perteneciente al Laboratorio de Anatomía de la Universidad del Valle, con el fin de identificar y observar el recorrido del décimo nervio craneal desde su origen aparente hasta los pulmones. Posteriormente, este recorrido se representó en el modelo tridimensional que se realizó del árbol traqueobronquial de cerdo con un circuito, para ello se utilizaron 16 luces LED blancas.

En el diseño del sistema biomimético para emular la propagación del potencial de acción a lo largo del nervio vago, se implementó un arreglo de diodos emisores de luz (LEDs) con resistencias limitadoras de 220Ω para cada led, Buscando realizar una analogía tanto en la representación física de la inervación del nervio vago en la estructura anatómica como funcional representado por medio de una secuencia de luces leds encendidos de manera secuencial el recorridos del impulso nervioso a través de esta estructura. Se estableció una señal de voltaje que funciona para emular la dinámica del potencial de umbral e indicar un cambio de estado en el potencial de acción, un fenómeno en el que

las neuronas modifican su estado eléctrico debido a la apertura y cierre de canales iónicos en la membrana celular durante la transmisión del impulso nervioso. En el circuito, cada LED representa una neurona, y su encendido o apagado simula un "estado" en el proceso emulado de potencial de acción. Este proceso cambia secuencialmente de un estado activo (High, encendido) a uno inactivo (Low, apagado), replicando el mecanismo de propagación del potencial de acción entre neuronas de manera análoga.

RESULTADOS

Se obtuvo el modelado del árbol traqueo bronquial humano con sus respectivos bronquios principales, lobares, segmentales y bronquiolos respiratorios; además, se logró emular la inervación del nervio vago en el modelo del árbol traqueobronquial de cerdo. El modelo 3D implementado permitió diferenciar la textura de la tráquea y bronquios presentes en esta región anatómica, con una representación correlacionada entre la forma, la relación y la función de las estructuras que establecía una comparación en los bloques broncopulmonares del cerdo y del humano.

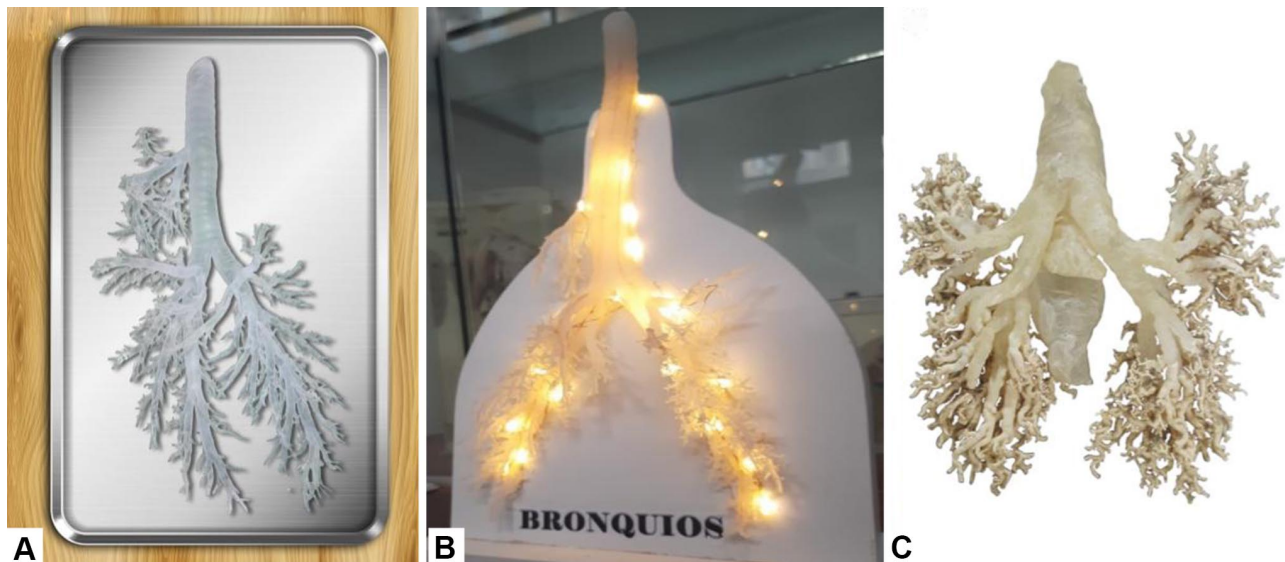


Fig. 2. Modelo 3D del árbol traqueobronquial. La imagen A muestra el dibujo del Modelo 3D de árbol traqueobronquial de cerdo; la imagen B presenta los modelos del árbol traqueobronquial de cerdo con circuito; la imagen C es el modelo 3D de árbol traqueobronquial de humano.

La integración de la ingeniería biomédica permitió mediante el uso de la tecnología emular la red nerviosa del X par craneal realizando su recorrido desde su origen aparente hasta los bronquios. Para comprender la anatomía humana es fundamental representar las estructuras anatómicas de forma física para favorecer la ubicación espacial y representar funciones abstractas como es la inervación y función. Además, se están usando nuevas técnicas para representar de una manera más realista la inervación y el modelo 3D (Figs. 2 y 3).

El modelo representa la despolarización y repolarización, durante el potencial de acción, la membrana celular se despolariza cuando los iones ingresan a la célula y se repolariza cuando los iones salen. En el código, se puede considerar la etapa en la que los LED se encienden como la despolarización, y cuando se apagan como la repolarización. La secuencia de encendido y apagado de los LED podría ser análoga a la secuencia de eventos eléctricos en la neurona. El modelo representa la propagación y velocidad del potencial de acción a lo largo de la membrana ce-

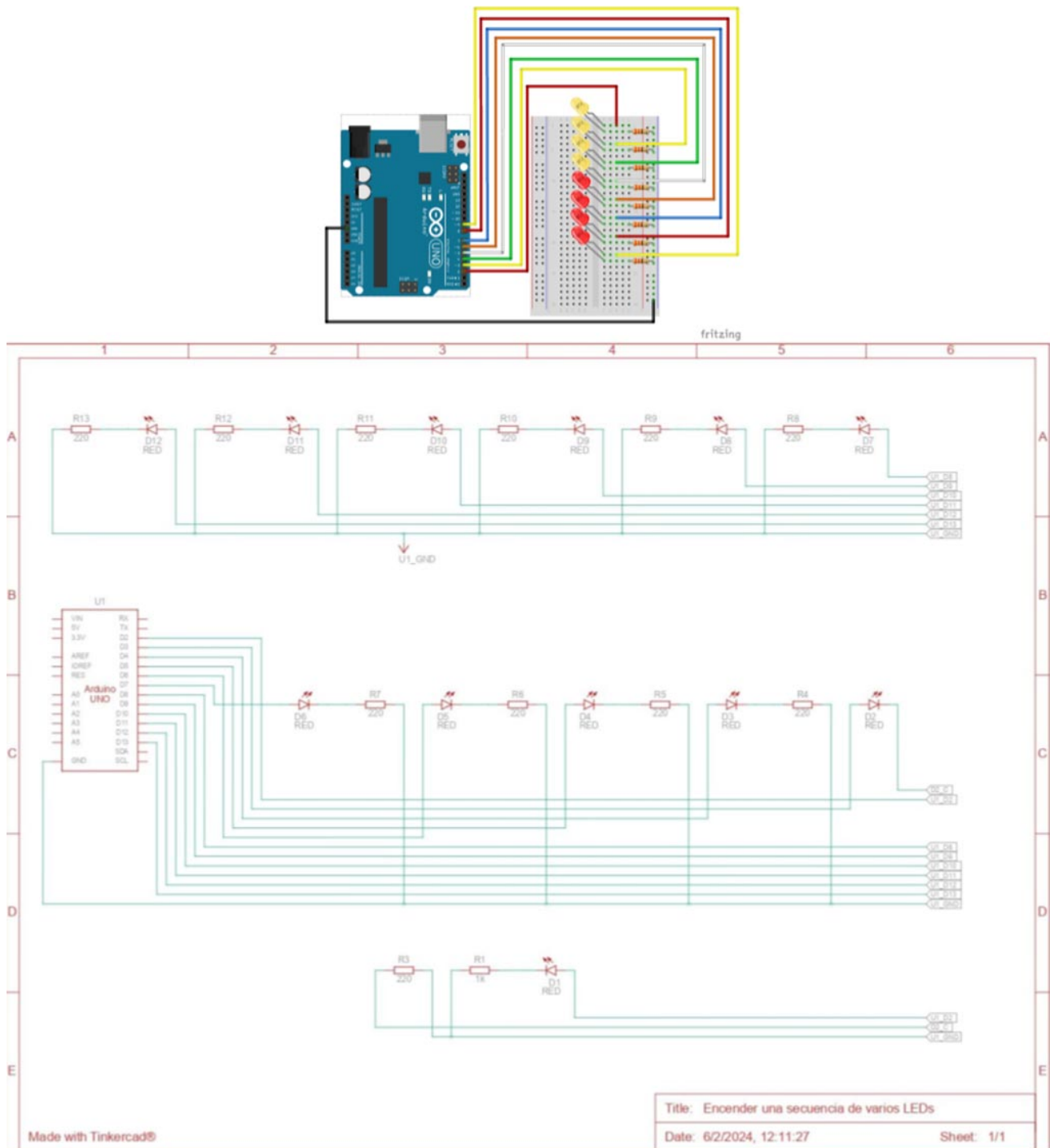


Fig. 3. Esquemático y diagrama del circuito de luces LED utilizado para el modelo de árbol traqueobronquial representación de la secuencia de la red nerviosa.

lular a una velocidad determinada. En el código, los LED se encienden y apagan uno tras otro con un retraso controlado por Wait-start, que puede reflejar la propagación gradual del potencial de acción a lo largo de una neurona.

También se representa el umbral y activación: para que ocurra un potencial de acción en una neurona, el voltaje debe superar un umbral crítico. En el código, se puede asociar esto con la activación de un LED cuando su estado cam-

bia de apagado (Low) a encendido (High). La activación de cada LED representa el cumplimiento del umbral para generar un potencial de acción. En cuanto a la refractariedad y recuperación, después de un potencial de acción, la neurona entra en un período refractario durante el cual es menos probable que genere otro potencial de acción. En el código, después de que un LED se enciende, existe un período de tiempo controlado por Wait-start antes de que se pueda encender el siguiente LED, así se logra asemejarlo al período refractario durante el cual la neurona no puede generar otro potencial de acción.

Con el fin de representar el potencial de acción del nervio vago se realizó este circuito para que pueda ser colocado en el modelo anatómico dándole un punto diferencial con los modelos anatómicos convencionales. En la Figura 3, se observa una representación de la simulación de la tirad de LED que emula el nervio vago, el microprocesador que se programó para enviar la señal del “potencial de acción”, donde se tienen resistencias Pull-down, los cables rojos representan la alimentación y los negros a tierra, se decidió hacer con el microprocesador, en la misma Figura 3 se aprecia el diagrama eléctrico del circuito.

DISCUSIÓN

Existen diferentes propuestas para la enseñanza de las ciencias, dentro de las que se encuentra la modelización. Esta ha sido considerada como pieza clave en la educación científica, pues promueve el aprender a aprender, constituyendo un proceso complejo cuyo desarrollo exige diferentes competencias y procesos relacionados con la investigación científica como la identificación de problemas, la formulación de hipótesis, la búsqueda de información, la elaboración de nuevas ideas y las explicaciones, entre otros (Oliva Martínez *et al.*, 2018).

Oliva (2019), en su artículo de revisión sobre modelos y modelización, plantea que los enfoques más genuinos de enseñanza-aprendizaje basado en modelos implican de forma activa al estudiante en la creación y aplicación de los mismos, entendiendo el aprendizaje como una práctica científica. El objetivo de la educación científica es que los estudiantes comprendan los conceptos básicos de las ciencias y que puedan adquirir conductas o habilidades científicas básicas, dándole sentido y relacionándolo con la vida diaria (Benzer & Ünal, 2021).

Para que los estudiantes comprendan la anatomía humana es necesario que representen mentalmente las estructuras físicas, que tengan la capacidad de girar mentalmente imágenes en los tres planos espaciales e imaginen

movimientos y funciones (Pujol *et al.*, 2016; Chaker *et al.*, 2021). Por esto la tecnología ha posibilitado el desarrollo de diferentes herramientas interactivas que permiten representar espacialmente las estructuras anatómicas para facilitar su enseñanza y aprendizaje. Se ha demostrado que los modelos 3D son eficientes para lograr comprender la ubicación espacial de las estructuras. Sin embargo, la visualización pasiva de todos estos recursos digitales no favorece el aprendizaje (Hoyek *et al.*, 2020). Brenton *et al.* (2007), consideran que los modelos en sí mismos tienen poco valor educativo y profesional sin un marco de ejecución cuidadosamente considerado. Siendo necesario plantearse involucrar a los estudiantes en la elaboración de modelos, es decir, en la modelización.

El aprendizaje de modelos científicos y su capacidad de razonar con ellos juegan un papel importante en la enseñanza de las ciencias. El razonamiento basado en modelos implica la capacidad de proporcionar explicaciones a los fenómenos físicos Krell & Krüger (2016), los modelos y la modelización son de gran importancia, especialmente en la enseñanza de conceptos abstractos, incluyéndose en los enfoques de enseñanza-aprendizaje contemporáneos, como el aprendizaje basado en problemas, en proyectos, en diseño y en STEM (Sen, 2020).

Para la construcción de este modelo 3D del árbol traqueobronquial se decidió utilizar silicona, puesto que es un material de fácil manejo, económico y accesible. En la literatura se encuentran modelos similares como el de la empresa SynDAver Beyond Human, que ha desarrollado un producto de modelo anatómico en silicona que les permite competir en precios, es reproducible a escala real, y argumentan que permite una representación sintética, táctil realista, además de permitir la adecuación de componentes del sistema nervioso. La silicona tiene una larga historia de uso en dispositivos médicos e implantes protésicos, además de aplicaciones industriales debido a sus grandes bondades (Ward & Jones, 2017). En el campo de la salud este material es biocompatible por lo cual se ha utilizado para implantes alopáticos (Daane, 2010), lo que garantiza que no altera el tejido por lo cual servirá para obtener la forma de la estructura anatómica.

El modelo 3D construido en silicona favoreció el trabajo de bio-instrumentación, donde la silicona juega un papel definitivo por temas de seguridad eléctrica. Al no ser un material conductor de electricidad (Brook, 2012), ayuda a prevenir corrientes de fugas que pueda sufrir el usuario al manipular este elemento por alguna posible falla del circuito que emula la inervación del nervio vago, es un factor importante la seguridad eléctrica (Webster *et al.*, 2009), haciendo cada vez más idóneo el material de silicona.

Algunos autores consideran fundamental que los profesores adopten metodologías de enseñanzas que involucren los modelos y la modelización para favorecer el aprendizaje a través de la comprensión conceptual. El que los estudiantes puedan construir sus propias representaciones en colaboración con sus compañeros son estrategias de enseñanza-aprendizaje efectivas (Chen *et al.*, 2017). La modelización ha demostrado ser favorable y popular en la enseñanza de las matemáticas (Kaiser, 2017, 2020; González-Martín *et al.*, 2021) y la enseñanza de la química (Cheng & Gilbert, 2017).

CONCLUSIONES

La modelización del árbol traqueobronquial permitió representar la forma, relación y función de las estructuras pulmonares a través de una estructura tridimensional en silicona permitiéndonos diferenciar la textura de la tráquea, bronquios principales, lobares y segmentales, a la vez que favorece la comprensión de la inervación de sus componentes. Este modelo permite diferenciar la compleja ubicación espacial de estas estructuras tan importantes para el sistema respiratorio debido a que se pueden observar las bifurcaciones del árbol bronquial, así demostrando su distribución esta descrita de forma matemática por la sucesión de Fibonacci.

La integración de la ingeniería biomédica permitió mediante el uso de la tecnología emular la red nerviosa del X par craneal representando la inervación de estas estructuras. La metodología desarrollada para la construcción del modelo será una herramienta de laboratorio que mejorará la adherencia en el aprendizaje y el uso médico.

ZUÑIGA, J.; BARRAGÁN-ACOSTA, A.; SOLÍS, R. D.; CALVO, P. & OSORIO, T. S. Construction of a 3D model of the tracheobronchial tree for teaching-learning of Human Gross Anatomy. *Int. J. Morphol.*, 42(6):1793-1800, 2024.

SUMMARY: Human Anatomy is defined as the science of shapes and structures of the human body. The study allows us to know the name of the structures, their location, shape, their relationship with other parts and their general function. Human Macroscopic Anatomy (MHA) refers to the study of body structures that can be examined without a microscope. Among the various teaching proposals, 3D modeling is considered a key piece in scientific education since it promotes learning through development and requires different skills and processes related to scientific research. Therefore, it was proposed to design and implement a protocol for the construction of 3D models of hollow organs, such as the tracheobronchial tree for the teaching-learning of Human Macroscopic Anatomy. The modeling of the

human tracheo-bronchial tree served to represent the respective main, lobar, segmental bronchi and respiratory bronchioles, in addition to the innervation of the vagus nerve in a pig tracheobronchial tree model. The 3D model implemented allowed us to differentiate the texture of the trachea and bronchi present in this anatomical region, with a correlated representation of the form and function of the structures contrasting the bronchopulmonary blocks of pig and human. The integration of biomedical engineering made it possible, through the use of technology, to emulate the nervous network of the X cranial nerve, in its path from its origin to the bronchi. The modeling of the tracheobronchial tree allowed us to represent the form, relationship and function of lung structures, through a three-dimensional structure, allowing us to differentiate the complex spatial location of these structures. The methodology developed for the construction of the model will be a laboratory tool that will improve learning and medical use.

KEY WORDS: 3D model; Human anatomy; Teaching; Learning.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benzer, A. I. & Ünal, S. Models and modelling in science education in Turkey: a literature review. *J. Balt. Sci. Educ.*, 20(3):344-59, 2021.
- Brenton, H.; Hernandez, J.; Bello, F.; Strutton, P.; Purkayastha, S.; Firth, T. & Darzi, A. Using multimedia and Web3D to enhance anatomy teaching. *Comput. Educ.*, 49(1):32-53, 2007.
- Brook, M. A. 3 - The Chemistry and Physical Properties of Biomedical Silicones. In: Peters, W.; Brandon, H.; Jerina, K. L.; Wolf, C. & Young, V. L. (Eds.). *Biomaterials in Plastic Surgery. Breast Implants*. Amsterdam, Elsevier, 2012. pp.52-67.
- Chaker, R.; Gallot, M.; Binay, M. & Hoyek, N. User experience of a 3D interactive human anatomy learning tool. *Educ. Technol. Soc.*, 24(2):136-50, 2021.
- Chen, S.; Pan, Z.; Wu, Y.; Gu, Z.; Li, M.; Liang, Z.; Zhu, H.; Yao, Y.; Shui, W.; Shen, Z.; *et al.* The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trial. *Sci. Rep.*, 7(1):575, 2017.
- Cheng, M. M. W. & Gilbert, J. K. Modelling students' visualisation of chemical reaction. *Int. J. Sci. Educ.*, 39(9):1173-93, 2017.
- Daane, S. *Alloplastic Implantation*. In: Weinzwieg, J. (Ed.). *Plastic Surgery Secrets Plus*. 2nd ed. Amsterda, Elsevier, 2010. pp.28-32.
- Estrada Portilla, M. E. & Infanzon Areche, H. A. *Biodegradación de Polietileno y Poliuretano por Aspergillus Flavus: Revisión Sistemática*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Ambiental. Lima, Universidad César Vallejo, 2021.
- González-Martín, A. S.; Gueudet, G.; Barquero, B. & Romo-Vázquez, A. *Mathematics and other disciplines, and the role of modelling. Advances and challenges*. In: Durand-Guerrier, V.; Hochmuth, R.; Nardi, E. & Winsløw, C. *Research and Development in University Mathematics Education*. Overview Produced by the International Network for Didactic Research in University Mathematics. Londres, Routledge, 2021. pp.169-89.
- Hoyek, N.; Di Rienzo, F.; Guillot, A. & Collect, C. The role of mental and motor processes in conceiving, developing and validating 3D interactive human anatomy learning tools. *FASEB J.*, 34(S1):1-1, 2020.
- Kaiser, G. *Mathematical Modelling and Applications in Education*. In: Lerman, S. (Ed.). *Encyclopedia of Mathematics Education*. 2nd ed. Cham, Springer, 553-561, 2020.

- Kaiser, G. *The Teaching and Learning of Mathematical Modeling*. In: Cai, J. (Ed.). *Compendium for Research in Mathematics Education*. Reston, The National Council of Teachers of Mathematics, Inc. 2017. pp.267-91.
- Krell, M. & Krüger, D. Testing models: a key aspect to promote teaching activities related to models and modelling in biology lessons? *J. Biol. Educ.*, 50(2):160-73, 2016.
- Latarjet, M. & Ruiz Liard, A. *Anatomía Humana*. Buenos Aires, Médica Panamericana, 2013.
- Lippert, H. *Anatomía con Orientación Clínica*. Madrid, Marbán, 1996.
- Montemayor Flores, B. G. What the dissection meaning for medical students. *Int. J. Morphol.*, 24(4):575-80, 2006.
- Moro, C.; S'tromberga, Z.; Raikos, A. & Stirling, A. The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anat. Sci. Educ.*, 10(6):549-59, 2017.
- Oliva Martínez, J. M.; Aragón Mendez, M. M.; Jiménez-Tenorio, N. & Aragón Núñez, L. La modelización como enfoque didáctico y de investigación en torno a la educación científica. *Int. J. 21 Century Educ.*, 5(1):3-18, 2018.
- Oliva, J. M. Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñ. Cienc.*, 37(2):5-24, 2019.
- Pujol, S.; Baldwin, M.; Nassiri, J.; Kikinis, R. & Shaffer, K. Using 3D modeling techniques to enhance teaching of difficult anatomical concepts. *Acad. Radiol.*, 23(4):507-16, 2016.
- Sen, S. Modelling the relations between Turkish chemistry teachers' sense of efficacy and technological pedagogical content knowledge in context. *Interact. Learn. Environ.*, 30(7):1215-28, 2020.
- Ward, R. S. & Jones, R. L. *Metallic, Ceramic, and Polymeric Biomaterials*. In: Ducheyne, P. (Ed.). *Comprehensive Biomaterials II*. Amsterdam, Elsevier, 2017. pp.570-619.
- Webster, B. J.; Chan, W. S. C.; Prosser, M. T. & Watkins, D. A. Undergraduates' learning experience and learning process: quantitative evidence from the East. *High. Educ.*, 58(3):375-86, 2009.
- Yin, R. K. *Case study research: Design and methods*. 5th ed. Thousand Oaks (CA), Sage, 2014.
- Zibis, A.; Mitrousias, V.; Varitimidis, S.; Raoulis, V.; Fyllos, A. & Arvanitis, D. Musculoskeletal anatomy: evaluation and comparison of common teaching and learning modalities. *Sci. Rep.*, 11(1):1517, 2021.

Dirección para correspondencia:

Alexander Barragan
Universidad del Valle
Barrio San Fernando
Cali
COLOMBIA

E-mail: alexander.barragan@correounivalle.edu.co