BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

MODELOS DE REALIDAD AUMENTADA DE LAS NEURONAS PIRAMIDALES DE RATA

Tesis presentada como requisito para obtener el título de:

Licenciatura en Biología

PRESENTA:
URYKE MHARX CAGAL CALDELAS

Asesor de tesis: Dra. María Eugenia Pérez Bonilla

Julio 2016

Esta tesis fue realizada en el Laboratorio de Biología Interactiva de la Escuela de Biología.

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

Agradezco a la Dra. Ma. Eugenia Pérez Bonilla tanto como al Dr. Arturo Reyes Lazalde por haberme permitido trabajar con ellos y su apoyo brindado al realizar este trabajo de tesis.

DEDICATORIA

Les dedico esta tesis a mis padres, Cristobal Cagal Toto y María Gisela Caldelas Gómez, quienes me han apoyado toda la vida para salir adelante, son las personas que más respeto pues han sabido sacarnos adelante con arduo esfuerzo durante todos estos años. Un ser humano no es humano si no comete errores, todos cometemos errores, nadie nace sabiendo ser padre ni ser hijo, pero a medida que crecemos aprendemos nuestros papeles, lo que significa ser padre, y lo que significa ser hijo, aprendemos a valorar y agradecer lo que tenemos, después de todo, la fruta nunca cae tan lejos del árbol, por eso, con esta pequeña dedicatoria, les agradezco todos los años de esfuerzo, los años de aguantarme y cuidarme, ustedes me han dado todo y les estoy agradecido, es grato ser su hijo, ustedes siempre serán mis queridos padres. Gracias Papa, gracias Mama.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS…….. 3

DEDICATORIA…….. 4

RESUMEN…….. 7

1. INTRODUCCIÓN…….. 8

1.1. Aspectos Tecnológicos:…… 9

1.1.1. Realidad aumentada…… 9

1.1.2. Aspectos históricos de la realidad aumentada…… 11

1.1.3. Diferencia entre realidad aumentada y realidades mixtas…….. 13

1.1.4. Arquitectura de la realidad aumentada…… 15

1.1.5. La realidad aumentada en la educación……... 17

1.1.6. Aplicación para dispositivos móviles……... 19

1.1.7 Uso de las nuevas tecnologías en educación…… 22

1.1.8 Realidad aumentada en ciencias…… 26

1.2. Aspectos Biológicos…… 27

1.2.1. Neuronas piramidales…… 27

1.2.2. Neuronas piramidales dentro de la corteza cerebral de rata……. 32

1.2.3. Modelo morfológico general de la neurona piramidal de la capa V…… 34

1.2.4. Morfología de las neuronas piramidales de la capa V…… 35

1.2.5. Neuronas piramidales tipo TTL5…… 36

2. JUSTIFICACIÓN…… 38

3. OBJETIVOS……... 38

3.1. OBJETIVO GENERAL…… 38

3.2. OBJETIVOS PARTICULARES…… 39

4. MATERIAL Y MÉTODOS…… 39

4.1. Características del hardware utilizado…… 39

4.2. Construcción en 3D de neuronas piramidales……... 41

4.3. Construcción de las neuronas en 3D con Blender…… 45

5. RESULTADOS……. 46
5.1. Imagen de neurona TT2-BP en 3Da……... 46
5.2. Imagen de neurona TT1-BD en 3D……. 47
5.3. Imagen de neurona TT2-BP en 3Db……... 48
5.4. Morfometría de los modelos TT2-BPa, TT1-BD y TT2-BPb……. 50
5.5. Ejemplos en realidad aumentada…….. 51
5.5.1. Neurona TT2-BPa en rebanada de cerebro de rata……..... 52
5.5.2. Neurona TT1-BD en rebanada de cerebro de rata……..... 53
5.5.3. Neurona TT2-BPb en rebanada de cerebro de rata……..... 54
5.5.4. Archivo Multimedia ……. 57
6. DISCUSIÓN…….. 61
7. CONCLUSIÓN……. 62
8. BIBLIOGRAFÍA……... 64
9. ANEXO…….. 69

RESUMEN

La realidad aumentada es una tecnología que ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas. Con ayuda de los dispositivos móviles que se han vuelto verdaderas computadoras de bolsillos se ha logrado implementar de una manera más amplia. Sin embargo, una de las áreas poco explotadas de esta tecnología es la educación. Esta tecnología ofrece varios beneficios para el usuario; puede apoyar a estos a desarrollar sus habilidades espaciales y temporales, así como ayudar a comprender mejor, por ejemplo, modelos tridimensionales de uso en educación. En las ciencias existen diversas estructuras que resultan complejas para su comprensión, ya que la mayoría de los esquemas presentados están en 2D, cuando en realidad son estructuras tridimensionales. Los modelos tridimensionales implementados en una tecnología de realidad aumentada ayudan a mejorar la comprensión de dichas estructuras. Una de las estructuras más complejas en la naturaleza y más importantes para el funcionamiento del cerebro son las neuronas. Como un ejemplo, en este trabajo se implementaron neuronas piramidales de penacho ancho de la capa V. Presentan las siguientes características morfológicas: son neuronas grandes, y cuentan con arborización dendrítica basal y apical amplia. La llegada de entradas sinápticas a estos árboles dendríticos es diferenciada, lo que implica una respuesta distinta según las entradas sinápticas. Representar estas neuronas en 3D permite comprender mejor su estructura y es el primer paso para comprender después su función de acuerdo a las llegadas sinápticas. Las neuronas fueron construidas en formato 3D mediante el programa Blender ver. 2.77a y se pasaron videos de rebanadas de cerebro de rata a manera de realidad aumentada. El usuario puede girar las neuronas en 360º, y de arriba abajo.

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología ha tenido progresos exponenciales durante las últimas décadas, se ha pasado de computadoras enormes y pesadas (con hardware ineficiente), a computadoras portátiles como las laptops, que cada vez tienen hardware más eficiente y portátil. Estas características reducen considerablemente su tamaño y peso para su transporte y comodidad del usuario. Computadoras con un nivel de portabilidad más grande, como lo son las computadoras de bolsillo, como, por ejemplo, los teléfonos celulares inteligentes. Con estas tecnologías aparecieron los modelos virtuales. Se pueden crear y manipular de manera relativamente fácil. Recientemente, la implementación de dichos modelos en ambientes reales mediante el uso de las computadoras de bolsillo mencionadas anteriormente. Gracias a los grandes avances como la incorporación de poderosos procesadores y cámaras se pueden observar y manipular objetos virtuales captados desde las cámaras desde las pantallas táctiles capacitivas. Esta tecnología ahora es conocida como realidad aumentada la cual ha tenido grandes avances y que ahora forma gran parte de nuestras vidas. Se usan en varias áreas como: marketing, entretenimiento y publicidad. Este tipo de tecnología tiene un futuro prometedor en otro rubro que nos compete como sociedad: La educación (Pan et al, 2006; Carracedo & Martínez, 2012)

Diversos estudios han sido realizados acerca del papel de la realidad aumentada dentro de la educación, así como algunos estudios sobre su eficacia, en el trabajo por McConatha et al (2008) y De la Torre et al (2012) mencionan una gran cantidad de dichos trabajos enfocados al aprendizaje ubicuo por medio de dispositivos portátiles. Dentro de estos estudios se puede observar que es una herramienta con grandes beneficios para el interesado o alumno. Es posible su uso dentro de la educación formal, como informal. Sin embargo, se busca la creación de material especializado y contextualizado en especialidades científico-tecnológicas (Carracedo & Martínez, 2012). En algunos museos ha sido ocupada para mejorar la comprensión de los visitantes (Ruiz, 2011). La realidad aumentada tiene un futuro prometedor como herramienta en la educación, por lo que sería de

gran importancia crear material didáctico diseñado para diferentes niveles educativos que puedan ayudar a un alumno o individuo (hablando de educación formal o informal), a poder comprender mejor fenómenos que no pueden ser observados a simple vista (Dunleavy et al, 2009).

La realidad aumentada en temas académicos, ha tenido una proliferación en temas de artes, diseño y arquitectura, donde los usuarios pueden interactuar directamente con los modelos 3D que diseñan. La ciencia también puede ser un área donde se explote esta tecnología, pues permitiría al usuario interactuar con figuras tridimensionales que no se pueden observar a simple vista o manipularlas. Por ejemplo, modelos 3D ocupados en realidad aumentada. Los modelos 3D permiten resaltar las estructuras anatómicas y morfológicas de los organismos, para que el interesado tenga una mejor comprensión; sobre todo cuando no se pueden observar, y en algunos casos los interesados se ven confundidos o sin lograr comprender, por ejemplo, modelos moleculares, la conformación del epitelio visual, del epitelio auditivo, gustativo, así como las vías por donde pasa la información neuronal hasta llegar a la corteza encargada de procesar dicha información. Así, el uso de esta tecnología de manera formal (en un aula) o informal (ubicua), ayudaría a que los usuarios, en cualquier momento puedan estudiar y comprender mejor dicha información (Wu et al, 2012).

1.1. Aspectos Tecnológicos

1.1.1. Realidad Aumentada

La realidad aumentada es una experiencia en la cual el mundo real es aumentado por contenido generado por computadora, el cual está vinculado a locaciones específicas o actividades. En términos simples, la realidad aumentada permite que el contenido digital sea superpuesto y combinado en nuestras percepciones del mundo real (Basogain et al, 2007).

Mientras las tecnologías que hacen posible esto han estado presentes por algún tiempo, solo recientemente la realidad aumentada se ha vuelto accesible en dispositivos cada vez de menor costo (Yuen, S. et al, 2011). Con la aparición y el desarrollo de plataformas móviles como Android o iOS, se han abierto las puertas para que la realidad aumentada sea accesible para las personas, esto es, mediante el uso de dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes, tabletas, y PDAs (Goh & Kinshuk, 2006; Tak-Wai et al, 2006; Carmigniani, 2011).

La realidad aumentada tiene diversas aplicaciones actualmente, muchas de las cuales están dirigidas a distintas áreas como lo son: Empresariales, marketing, entretenimiento, videojuegos, etc. Sin embargo, una de las áreas menos exploradas y que promete gran potencial es el área de la educación (Billinghurst, 2002, Kerawalla et al, 2006; Kearney et al, 2014).

Pero, ¿Qué es la realidad aumentada?, la realidad aumentada hace referencia a un amplio espectro de tecnologías que proyectan materiales generados por computadora, tales como texto, imágenes y video en la percepción del mundo real del usuario. Inicialmente, los investigadores definieron la realidad aumentada en términos de los dispositivos que la facilitaban, como los dispositivos montados a la cabeza (HMD por sus siglas en inglés). Sin embargo, argumentado que estas definiciones eran demasiado simplistas para un campo en expansión, Azuma (1997) y otros investigadores (Azuma et al, 2001; Kaufmann, 2003; Zhou, Duh, & Billinghurst, 2008; Van Krevelen & Poelman, 2010) definieron la implementación de la realidad aumentada por tres características:

a) La combinación del mundo real y elementos virtuales

b) los cuales eran interactivos en tiempo real y los cuales

c) son registrados en 3D.

De manera similar Höllerer y Feiner (2004) definen los sistemas de realidad aumentada como aquellos que combinan “Información real y generada por computadora en un ambiente real, de manera interactiva y en tiempo real y que alinea objetos virtuales con físicos”. Ludwig y Reimann (2005) definen la realidad

aumentada como “Interacción entre humano y computadora que añade objetos virtuales a los sentidos reales que son proporcionados por una videocámara en tiempo real”. Zhou, Duh, y Billingurst (2008) simplemente definen la realidad aumentada como una tecnología “Que permite que imágenes generadas por computadora se superpongan a objetos físicos en tiempo real”.

Al hablar de la realidad aumentada podemos también inferir ciertas características acerca de su interacción con el usuario, por lo que podemos destacar que esta pretende simplificar la vida del usuario al potenciar, “aumentar” los sentidos del usuario, no interferir con ellos. La realidad aumentada trata de aumentar las habilidades de las personas y sus sentidos, no reemplazarlos, entonces podemos decir que potencia la percepción del usuario en su interacción con el mundo real, mientras que la realidad virtual o entorno virtual, llamado así por Milgram (1994), envuelve completamente al usuario en un mundo sintético sin poder ver el mundo real.

La realidad aumentada trata de simplificar la vida del usuario al llevar información virtual no solo a su entorno inmediato, sino también a cualquier vista indirecta del ambiente del mundo real, tales como transmisión de video en tiempo real.

1.1.2. Aspectos Históricos de la Realidad Aumentada

En 1994, Milgram y Kishino buscan clarificar el trabajo hecho definiendo cuatro tipos de entornos. Primero es el mundo real o entorno real, con el cual todos estamos familiarizados. Al otro extremo se encuentran los mundos virtuales o entornos virtuales, en los cuales toda la información percibida por el usuario es generada por computadoras y a su vez, se encuentra sin relación con locaciones del mundo real, objetos o actividades. Entre estos dos extremos existen, por lo menos conceptualmente, dos tipos de entornos aumentados: Realidad aumentada, la cual toma el mundo real y el entorno real de trasfondo e inserta contenido generado por computadora, y la virtualidad aumentada, en la cual un mundo generado por computadora sirve de trasfondo mientras información del

mundo real es mezclado y superpuesto. En la figura 1 se muestra el continuo Realidad-Virtualidad propuesto por Milgram et al. (1994).

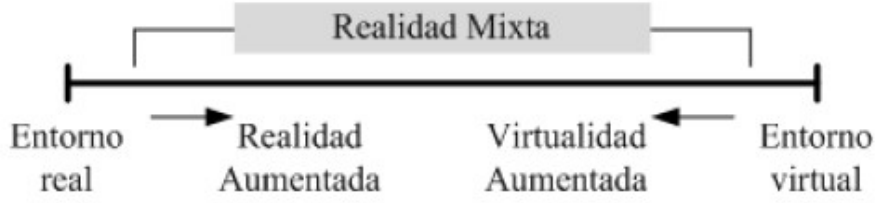


Fig. 1. Continuo realizado por Milgram et al. (1994). El primer continuo de realidad mixta, donde se aprecia como del entorno real se puede llegar a una realidad aumentada, y como de un entorno virtual se puede llegar a una virtualidad aumentada.

Billinghurst y Henrysson (2009), la investigación y desarrollo necesario para las actuales implementaciones de la realidad aumentada han tenido lugar durante las cuatro décadas pasadas (Figura 2). Así, algunas de las compañías que están involucradas en el desarrollo de tecnologías de RA y sus aplicaciones son ARToolkit, ARQuake, Google, Inglobe Technologies, Layar, metaio, nhowBerlin, Total Immersion y Webtitude.

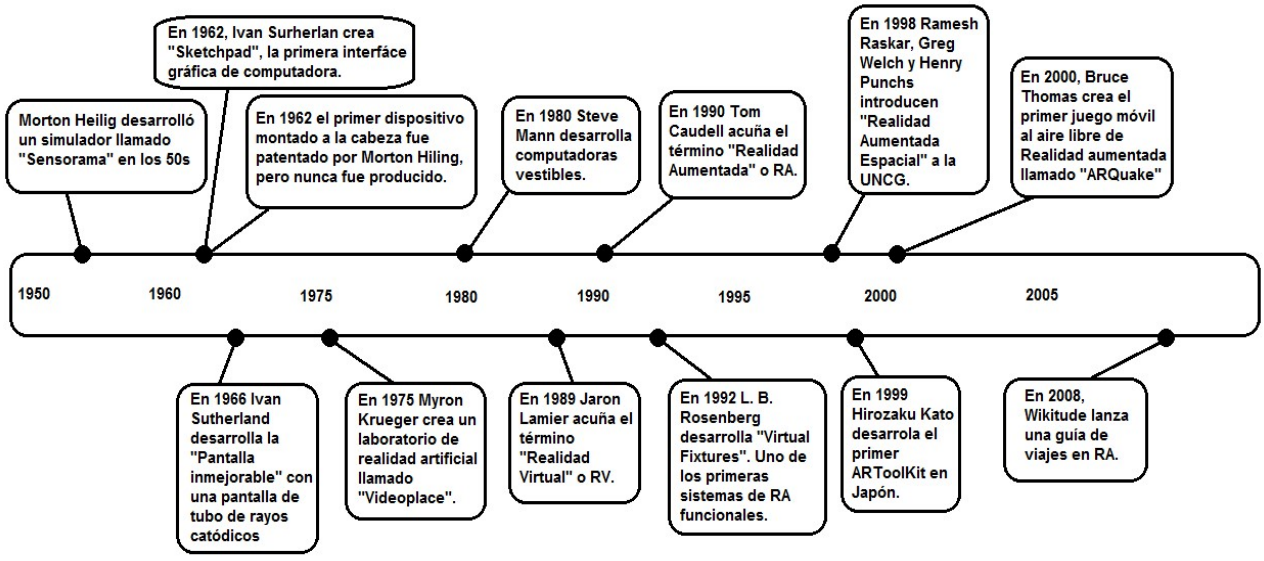


Fig. 2. Gráfico histórico sobre los avances en Realidad Aumentada. Se pueden observar eventos importantes para la Realidad Aumentada como el primer dispositivo montado a la cabeza

patentado en 1962 por Hiling, así como el termino de realidad aumentada acuñada por Caudell en 1990. Y ARToolkit en 1999 por Kato.

1.1.3. Diferencia entre Realidad Aumentada y Realidades Mixtas

Con esto, la diferencia entre RV y RA está en el tratamiento que hacen del mundo real. La RV sumerge al usuario dentro de un mundo virtual que reemplaza completamente al mundo real exterior, mientras que la RA deja ver al usuario el mundo real a su alrededor y aumenta la visión que éste tiene de su entorno mediante la superposición o composición de los objetos 3D virtuales (Dubois et al, 1999). Idealmente, esto daría al usuario la ilusión que los objetos de los mundos real y virtual coexisten. En definitiva, se podría decir que los sistemas de RA llevan la computadora al entorno de trabajo real del usuario, mientras que los sistemas de RV intentan llevar el mundo real al interior del ordenador (Edel y Guerra, 2010).

Dentro de las constantes innovaciones tecnológicas, el continuo creado por Milgram et al en 1994, se ve en una necesidad de ser expandido y mejor diferenciado por las influencias de las mismas. En 2007, Schnabel et al., proponen un nuevo continuo donde proponen nuevos ambientes mixtos (ME por sus siglas en inglés) que surgen de la interacción de con las nuevas tecnologías y su capacidad de aumentar la realidad (Figura 3).

Fig. 3. Expansión realizada por Schnabel et al 2007, del continuo realizado por Milgram et al 1994. En este continuo se consideran más tipos de realidades, como la realidad amplificada, la realidad mediada, la virtualidad aumentada y la realidad virtualizada. Esta clasificación se lleva a cabo con las consideraciones de las nuevas tecnologías emergentes.

Con esto se pueden definir otros ambientes que surgen del método de aumentación.

La realidad amplificada significa enriquecer las propiedades de objetos físicos con la ayuda de medios computacionales y fue introducida para complementar la realidad aumentada. Mientras que la realidad aumentada trata de como el usuario percibe la realidad; la realidad amplificada influencia como la realidad percibida se hace disponible para el usuario, esta clase de realidad derivada de la misma realidad aumentada confiere la habilidad para que el usuario pueda remover o añadir algún objeto virtual a una escena real, con lo que puede remover un objeto y con la información digital percibir el fondo como si dicho objeto no estuviese en ese lugar, o añadir uno para aumentar cierta percepción sensorial que no pudiese ser detectada (Schnabel et al, 2008; Van Krevelen & Poelman, 2010; Carmigniani et al, 2011).

La realidad mediada (y disminuida) describe el concepto general de modificaciones artificiales de la percepción humana al resintetizar la luz que llega al ojo del usuario. Información es añadida o removida de la escena antes de que sea vista. Los cambios dinámicos a la apariencia y la geometría de los objetos en el mundo real son típicamente aumentados usando gráficos computacionales y HMD. La realidad mediada ha probado ser ventajosa en disminuir deliberadamente la percepción de la realidad.

La realidad virtualizada comunica la realidad o escenas de eventos reales al capturar descripciones de escenas de un número de ángulos de transcripción. La experiencia de este entorno, es uno virtual, donde el usuario puede adoptar cualquier punto de vista o posición dentro del ambiente. En otras palabras, la tecnología de realidad virtualizada apunta un número de cámaras a un evento de

la vida real y permite que el usuario pueda virtualmente volar alrededor y mirar el evento en vivo o grabado desde nuevas posiciones.

Del otro lado del continuo se encuentra la realidad virtual, la cual puede llegar a ser inmersiva, donde el usuario puede llegar a interactuar con los objetos generados por computadoras en cierto nivel. Sin embargo, esta tecnología presenta desafíos como el hecho de que el usuario tenga problemas al manejar la percepción de sólido y vacío, navegación y función, sin la necesidad de traducir a y desde lo físico (Figura 4).

Fig. 4. En esta imagen se puede ver cómo funciona la realidad Aumentada con un dispositivo montado a la cabeza (HMD), y cómo funciona la realidad virtual inmersiva, contra la realidad en el proyecto MagicBook, en esta imagen se puede observar como el usuario puede moverse de la realidad a la realidad aumentada y después a una realidad virtual inmersiva (Billinghurst et al, 2001).

1.1.4. Arquitectura de la Realidad Aumentada

Un sistema de Realidad Aumentada descansa fundamentalmente sobre dos elementos críticos, visualización y seguimiento, pues de ellos depende el grado de inmersión e integración en la realidad mixta. El sistema de seguimiento determina la posición y orientación exactas de los objetos reales y virtuales en el mundo real. El sistema gráfico, o de visualización, además de generar los objetos virtuales, combina todos los elementos de la escena, reales y virtuales, mostrándolos por

pantalla. En la figura 5 se puede apreciar cómo funcionan estos sistemas para poder generar la realidad aumentada. La cámara captura la información que suministra el mundo real. Mientras el sistema de seguimiento establece la posición y orientación del usuario en cada momento. Con esta información se genera el escenario virtual que, combinado con la señal procedente de la videocámara, conforman una escena aumentada la cual se encuentra compuesta de objetos reales y virtuales y se presenta al usuario por medio del dispositivo de visualización.

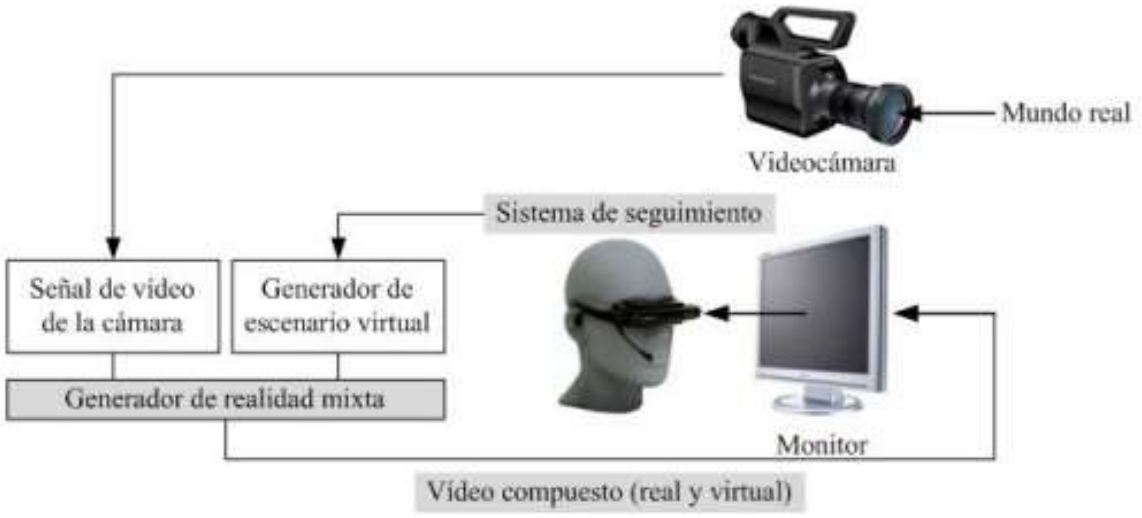


Fig. 5. Arquitectura de un sistema de Realidad Aumentada, un dispositivo óptico, en este caso una videocámara capta una imagen del mundo real, esta imagen es llevada a través de un generador de realidad mixta, puesto que se encarga de combinar las imágenes reales con las virtuales, estas son enviadas a un monitor donde un individuo con un HMD, que funge como sistema de seguimiento y es el encargado de generar las imágenes virtuales, así el individuo puede observar en el mismo la combinación de la imágenes en tiempo real.

Aunque en la actualidad y con la amplia gama de dispositivos móviles (Teléfonos inteligentes, Tabletas, etc.), el sistema se ha reducido a dispositivos portátiles que poseen cámaras y un CPU suficientemente poderoso como para poder capturar imágenes en tiempo real a través del dispositivo y al mismo tiempo poder superponer los modelos tridimensionales para su utilización, sin necesidad de un dispositivo montado a la cabeza.

1.1.5. La Realidad Aumentada en la Educación

Estos sistemas de realidad aumentada pueden resultar de gran utilidad en el aprendizaje; podrían apoyar a los alumnos a visualizar conceptos abstractos de la ciencia e incluso fenómenos inobservables, tales como el flujo del aire o campos magnéticos mediante el uso de objetos virtuales, incluyendo moléculas, vectores y símbolos. Por ejemplo, la química aumentada puede permitir a los estudiantes el seleccionar elementos químicos, componer modelos moleculares tridimensionales e incluso rotar los elementos, lo cual ayuda en gran medida al aprendizaje de las estructuras tridimensionales mediante la percepción espacio-temporal de dichas moléculas. Así como aspectos morfológicos y anatómicos de diversas estructuras en los organismos.

Existe una variedad de enfoques instruccionales y de aprendizaje que han sido tomados en el diseño de ambientes de realidad aumentada para la enseñanza, incluyendo: aprendizaje basado en juegos, basado en el lugar, simulaciones participativas, basado en problemas, juegos de roles, pedagogía basada en estudios y métodos de rompecabezas (Goh & Kinshuk, 2006). Existen diversos subconjuntos de realidad aumentada, como, por ejemplo: realidad aumentada móvil, realidad aumentada basada en juegos, y realidad aumentada multijugador; los cuales pueden ofrecer diferentes métodos para apoyar la implementación de estos enfoques (Goh & Kinshuk, 2006; Dunleavy et al, 2009). Basados en las cualidades más sobresalientes de estos enfoques, se pueden clasificar en tres categorías mayores: Enfoques de roles, Enfoques de interacción con lugares físicos, y enfoques que involucran a los estudiantes en tareas (Wu et al. 2012).

Esta tecnología ofrece varios beneficios, ya que puede ser ocupada en cualquier lugar o tiempo, por lo que se puede considerar ubicua, otro gran beneficio lo ofrece al momento de comparar estos modelos virtuales con modelos físicos los cuales pueden llegar a ser costosos y muy pesados dependiendo del material con el que sean construidos, así como muy voluminosos y poco prácticos en cuanto a métodos de transporte, podemos retomar como ejemplo el modelo físico creado por Watson y Crick, quienes crearon un modelo físico de más de dos metros de

altura para poder comprender la estructura helicoidal del ADN, que a su vez ha tenido cambios con el paso del tiempo (Figura 6), mientras esta tecnología ofrece un nivel de portabilidad muy superior y más barato (Figura 7).

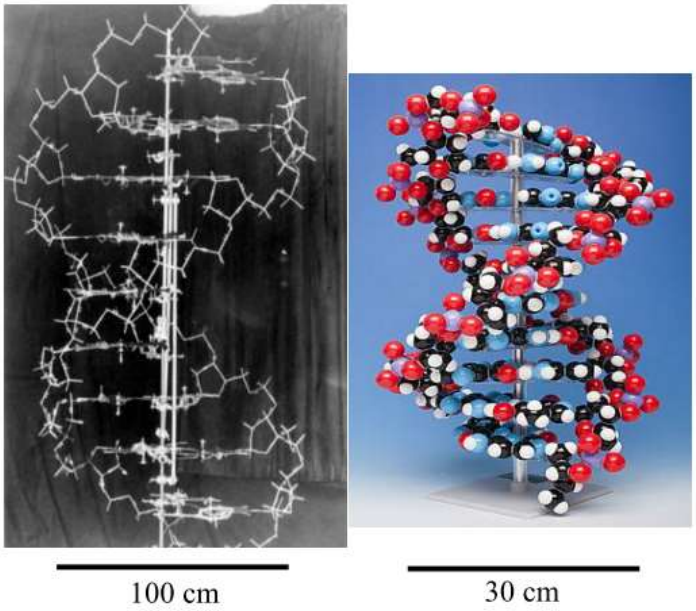


Fig. 6. Modelos moleculares mecánicos del ADN. a) Watson y Crick, b) modelo comercial actual. En esta imagen se puede observar cómo han cambiado los modelos tridimensionales físicos, desde la creación del modelo de ADN creado por Watson y Crick, hasta los modelos físicos comerciales actuales, donde se puede observar que han cambiado para ser más portátiles.

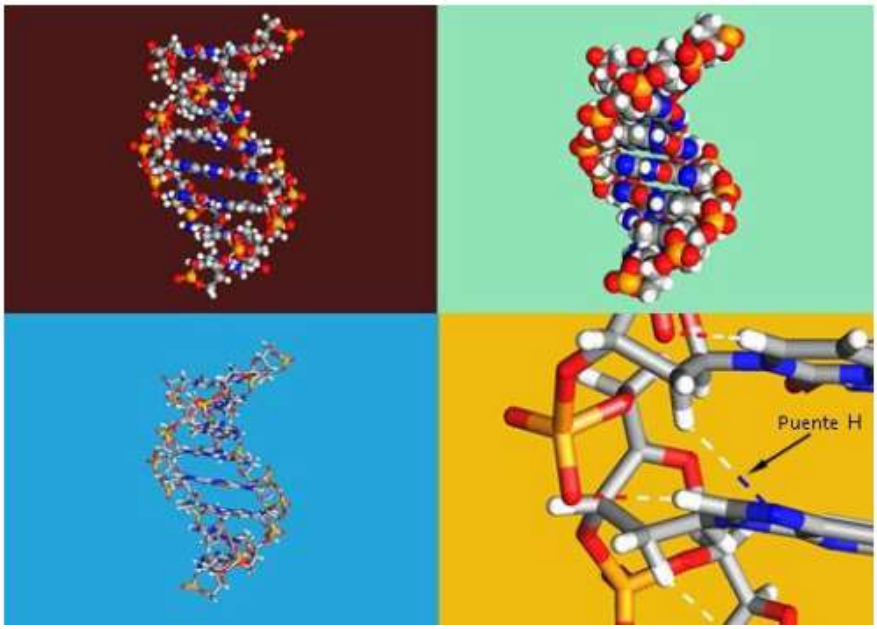


Fig. 7. Modelo tridimensional de la estructura molecular del ADN. Se pude observar como un modelo tridimensional computacional puede es más preciso en sus representaciones. Y al ser este completamente digital, presenta más ventajas pues puede ser manipulado con mayor facilidad y con las ventajas de ser visualizado en pantallas.

1.1.6. Aplicación para dispositivos móviles

Las tecnologías móviles han experimentado grandes avances en los últimos años, a tal grado que en la actualidad son indispensables para varios de sus usuarios y toman está tecnología como algo común y cotidiano, como las redes sociales. A medida que esta tecnología ha ido avanzando, los dispositivos se hacen cada vez más sofisticados, al grado de tener potentes cámaras con las que tomar fotografías, así como contar con poderosos procesadores que permiten al usuario experimentar ricas experiencias multimedia.

Existen diversos tipos de tecnologías que pueden ser clasificadas como móviles. Móvil, para la mayoría, significa “portable” y “movible”. También parece implicar “personal” en contraposición al contexto “compartible” de uso, y los términos “móvil” y “personal” son comúnmente usados de manera intercambiable, pero un dispositivo puede ser uno, sin necesariamente ser lo otro.

Naismith et al (2005) clasifican el rango de tecnologías móviles en dos dimensiones ortogonales de personal contra compartido y portable contra estático como se muestra en la figura 8. Se puede ver en el cuadrante 1, las tecnologías que pueden ser clasificadas como portable y personal. Esta clase de dispositivos son lo que la gente comúnmente piensa en relación con tecnologías móviles: Teléfonos móviles, PDAs, computadoras tabletas y laptops. También incluyen consolas de videojuegos portátiles.

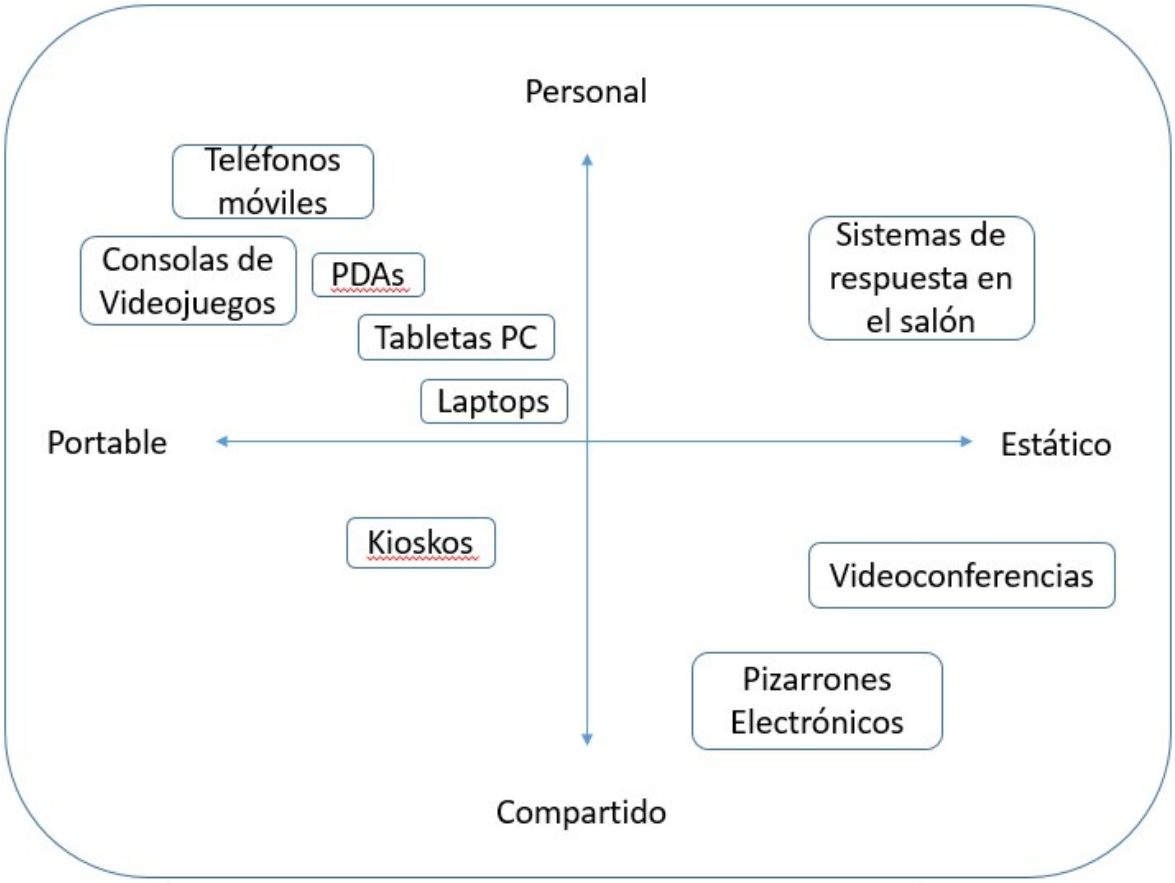


Fig. 8. Clasificación de las tecnologías móviles según Naismith et al, 2005. En este cuadro se clasifican las tecnologías (portable o estático) con el uso del usuario (personal o compartido) con respecto a la educación, por lo que se puede observar que las tecnologías portables son más personas que las estáticas, que son compartidas.

Estas aplicaciones toman las imágenes percibidas por la cámara del dispositivo, donde después son sobrepuestos objetos tridimensionales generados por

computadora. Se pueden llegar a interactuar con en el mismo modelo, crear juegos en realidad aumentada de tipo interactivo llegando el concepto de “edutainment” o entretenimiento educativo el cual también puede llegar a formar parte del terreno de la RA (Figura 9).

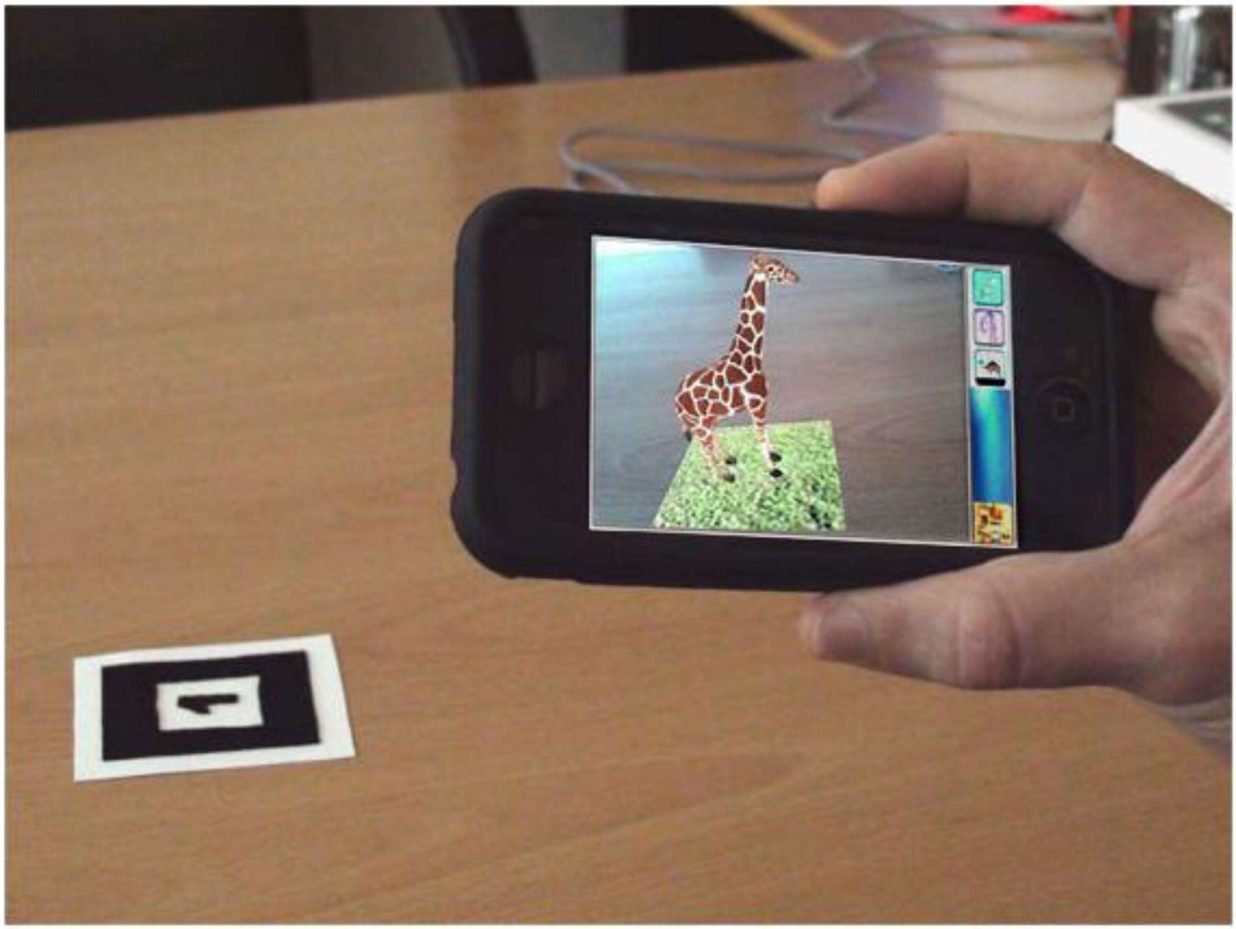


Fig. 9. Ejemplo de una aplicación móvil para iPhone (APRENDA), que usa modelos tridimensionales para implementarlos en RA, mediante el uso de marcadores.

Esto con la finalidad de que el usuario tenga una experiencia más agradable y menos intrusiva para que no llegase a pensar que se le está forzando a aprender, a su vez, esto mejoraría una implementación de esta tecnología para llegar de manera más consiste a una educación ubicua que no sea vista como tal, sino como una parte cotidiana de la vida.

En 2002, Sharples y Sharples et al, definen como debería ser un dispositivo para que este pueda ser de ayuda para la educación:

- Altamente portable, para que pueda ser disponible para el usuario cuando sea que este necesite aprender.
- Individual, para que pueda adaptarse a las habilidades del usuario, conocimiento y estilos de aprendizaje, así como diseñado para aprendizaje personal.
- Inobstrusivo, para que el usuario pueda capturar situaciones y conseguir conocimiento sin que la tecnología obstruya la situación.
- Disponible donde sea, para permitir comunicación con expertos, profesores y otras personas.
- Adaptable, para el contexto de aprendizaje y el desarrollo de las habilidades y el conocimiento del usuario.
- Persistente, para que ser ocupado para el aprendizaje en periodos largos de tiempo, para que la acumulación de material y conocimiento del usuario pueda ser accesible sin importar los cambios en la tecnología.
- Usable, apropiado para las necesidades diarias de comunicación, referencia, trabajo y aprendizaje.
- Intuitivo para el uso por gente sin conocimiento previo de la tecnología.

1.1.7 Uso de las nuevas tecnologías en educación

La realidad aumentada es una tecnología que posee un gran potencial para el área del aprendizaje ubicuo en la actualidad. Sin embargo y a pesar de su desarrollo, esta área ha sido hecha a un lado. Podemos resaltar algunos puntos propuestos para esta tecnología en el área de la educación.

Klopfer, Squire, Holland y Jenkins (2002) describen cinco propiedades de las computadoras de mano que producen interacciones educativas únicas:

a) Portabilidad: Pueden mover las computadoras a diferentes sitios y moverse alrededor de un lugar.
b) Interacción social: Pueden intercambiar información y colaborar con otras personas cara a cara.
c) Sensibilidad de contexto: Pueden obtener información única del lugar actual, ambiente, y tiempo, incluyendo información real como simulada.
d) Conectividad: Pueden conectarse dispositivos de mano a dispositivos de colecciones de información, otros dispositivos de mano, y a redes comunes que crean un verdadero entorno compartido.
e) Individualidad: Pueden proveer andamios únicos que son personalizados para el camino de investigación del individuo.

Esta tecnología, puede ser implementada de una forma que parezca ser algo más natural y habitual. Las tecnologías han ido mejorando con el paso del tiempo, podemos observar, por ejemplo, como el ámbito social integrado a la tecnología móvil ha ido mejorando con el paso de los últimos años, siendo algo que ahora en la actualidad se observa como común y cotidiano. La interacción social en algo ya natural para la sociedad. En el caso de lo mencionado anteriormente, podríamos aprovechar de manera eficaz estas tecnologías para el aprendizaje. Permite a los usuarios interactuar de manera rápida. Permite el intercambio de archivos, ideas, etc. Sin embargo, también estos dispositivos móviles, permiten cierto grado de individualidad. El usuario puede tener contenido personalizado a sus gustos y preferencias; también compartirlo con un grupo que conjunte sus intereses.

Roschelle y Pea (2002) observan cinco características de aplicaciones de mano emergentes:

a) Aumento de espacio físico con simulación de información.
b) Uso de espacio topológico (o físico).
c) Adición de la participación individual en oportunidades de reflexión grupales.
d) Situar al profesor como un conductor de actividades.
e) Usar las acciones de los estudiantes como artefactos para discusión.

Esto es, los alumnos en un ambiente como este, podrían tener un mayor grado de retroalimentación entre sus ideas a la vez que su interacción con el material disponible (de Realidad Aumentada) los ayuda a comprender mejor ciertos fenómenos. Así, estas implicaciones sugieren un arreglo de modos únicos de interacción, tales como investigaciones distribuidas y colaborativas, redes de trabajo de igual a igual o acoplamiento de espacio físico con instrucción. En el caos de aulas, el profesor funge como un conductor de actividades, siendo esto quien guie a los alumnos en una exploración acerca del material interactivo para que este se logre aprovechar al máximo para el aprendizaje.

Para el caso de estudios con realidad aumentada, podemos encontrar diversos ejemplos existentes. En ciencias podemos encontrar como la visualización en 3D permite una clara comprensión de la estructura tridimensional de las moléculas y de muchas propiedades físicas y químicas derivadas de ella. El modelo más sencillo representa cada elemento químico por átomos esféricos de tamaño y color característicos y a los enlaces atómicos mediante barras cilíndricas; estos modelos son comúnmente denominados de “bolas y palitos”. Manteniendo las distancias entre centros atómicos se pueden disminuir los radios de las esferas de modo de obtener una estructura abierta en la que se visualiza fácilmente la red tridimensional de enlaces atómicos; o bien se pueden aumentar los radios atómicos de modo que las superficies esféricas se toquen o intercepten obteniendo un modelo que simula la superficie exterior de una molécula. Conceptos tales como escala, accesibilidad, reactividad, impedimento estérico y topoquímica, son fácilmente asequibles con la ayuda de estos sencillos modelos digitales tridimensionales (Marzocchi et al, 2012). Aquí podemos observar como el estudio en tercera dimensión facilita el estudio de fenómenos que no pueden ser observados a simple vista por el usuario.

Los alumnos llevan casi la mitad de su vida empleando diferentes softwares, lo que indica que poseen experiencia general suficiente para emplear las simulaciones, visualizaciones moleculares digitales y en general, diversos

fenómenos que pueden ser aprendidos y mejor comprendidos mediante la realidad aumentada.

Dentro de esta modalidad de aprendizaje mediante realidad aumentada se puede aprovechar diversas características de la misma, donde el usuario no puede aprender solamente en el salón de clases, sino que también dispone del material mediante dispositivos móviles que le permiten aprender a su disposición e interés, así, este tipo de educación podría ser implementada desde niveles elementales para que los usuarios se puedan ir adaptando de cierto modo que este tipo de aprendizaje se vuelva tan común y natural como ahora lo son las redes sociales que se han vuelto una parte fundamental de la vida diaria de los usuarios.

En el caso de la realidad aumentada como método de enseñanza tampoco podemos descartar la parte de entretenimiento educativo (Edutainment en inglés), ya que este podría ayudar a una implementación más natural para el usuario sin que este vea la introducción de este método de aprendizaje como algo forzado. Kopfler y Squire (2008) se refieren al tema como una ventaja que estas tecnologías representan. Los juegos de simulación de realidad aumentada usan las computadoras de mano para proveer una capa de información (datos) que "aumenta" la experiencia de la realidad del usuario al conectar dicha información (Multimedia, por ejemplo) al dispositivo móvil a un espacio físico (Por ejemplo, un edificio o un lugar). Construir una plataforma de software general permitiría:

a) A los desarrolladores crear nuevos juegos de realidad aumentada de simulación más rápido y costo-efectivos.
b) A los profesores y diseñadores instructivos el crear juegos para condiciones específicas de estudio.
c) A los profesores personalizar juegos que ayuden a las necesidades de los estudiantes y refinar los mismos sistemas para apoyo de los estudiantes.
d) A los alumnos convertirse en diseñadores de juegos, creando juegos de simulación.

La realidad aumentada tiene el potencial de permitir y motivar a los estudiantes la posibilidad de explorar material desde una variedad de diferentes perspectivas y ha sido demostrado ser particularmente útil para enseñar temas de materias que estudiantes no podrían experimentar de primera mano en el mundo real. También permite la demostración de relaciones espaciales y la interacción de elementos dentro de un espacio en tercera dimensión, mientras provee el potencial para una apropiada interacción entre el mundo real y virtual.

En el estudio de Kerawalla et al (2006), exponen los siguientes puntos para mejorar el aprendizaje basado en realidad aumentada:

• El contenido de realidad aumentada debe ser flexible para que los profesores puedan adaptarlo a las necesidades de los alumnos de manera individual. Debería ser posible añadir y remover elementos, así como la velocidad de las animaciones.

• Los sistemas de realidad aumentada necesitan poder otorgar material de programas en la misma cantidad de tiempo que los métodos más tradicionales de enseñanza.

• Los alumnos deben ser capaces de explorar el contenido de realidad aumentada y esta exploración debería ser propiamente escalable para que permita maximizar las oportunidades de aprendizaje.

• El desarrollo de aplicaciones educacionales de realidad aumentada debe tomar en consideración la naturaleza y limitaciones del contexto institucional donde es introducida. Esto sugeriría que hay beneficios que son ganados en una aproximación diseñada centrada en el usuario.

1.1.8. Realidad aumentada en ciencias

Particularmente, para el estudio de la biología hace falta el desarrollo de materiales didácticos de apoyo a la enseñanza. La implementación de estructuras tridimensionales es frecuente en áreas como la química y la bioquímica. En neurociencias se han desarrollado programas de simulación de propósitos

generales que permiten la simulación tanto de la función como de la estructura tridimensional de neuronas. Por ejemplo, NEURON (Schönknecht et al., 2008). El estudio 3D de neuronas permite al alumno visualizarla en 360º y en su caso ubicar diferentes entradas sinápticas. A simple vista es imposible ver la estructura de las neuronas. Con las técnicas de microscopía se pueden observan la estructura de las neuronas teñidas y fijadas. Esto imposibilita rotar las neuronas y observar su complejidad estructural. En este trabajo, se desarrolló la estructura de neuronas piramidales de la capa V de la corteza cerebral como un ejemplo de implementación didáctica. Las neuronas piramidales presentan un soma, un axón, un árbol dendrítico apical y uno basal.

1.2. Aspectos biológicos

1.2.1. Neuronas piramidales

La neurona piramidal de la neocorteza es una innovación de los mamíferos compartida por todos ellos (Marín-Padilla, 2012), caracterizada por su desarrollo distintivo, su morfología (Figura 10) y sus características funcionales. Se originan en el neuroepitelio de la corteza ependimaria y atraídas por la proteína Reelin (Frotscher, 1998), de las células de Cajal-Retzius y usan fibras gliales radiales como guías para ascender y alcanzar la primera capa, logrando así, establecer contactos (ramos dendríticos) y permanecer funcionales ancladas a ella de por vida. Las células de Cajal-Retzius controlan la migración neuronal hacia la capa I, la disposición ‘de abajo a arriba’ de las neuronas dentro de la placa cortical y la morfología de la neurona piramidal. Consecuentemente, sus dendritas apicales, mientras mantienen su anclaje original, tienen que alargarse anatómicamente para acomodarse a la llegada de neuronas subsecuentes (Marín-Padilla, 2001, 2014).

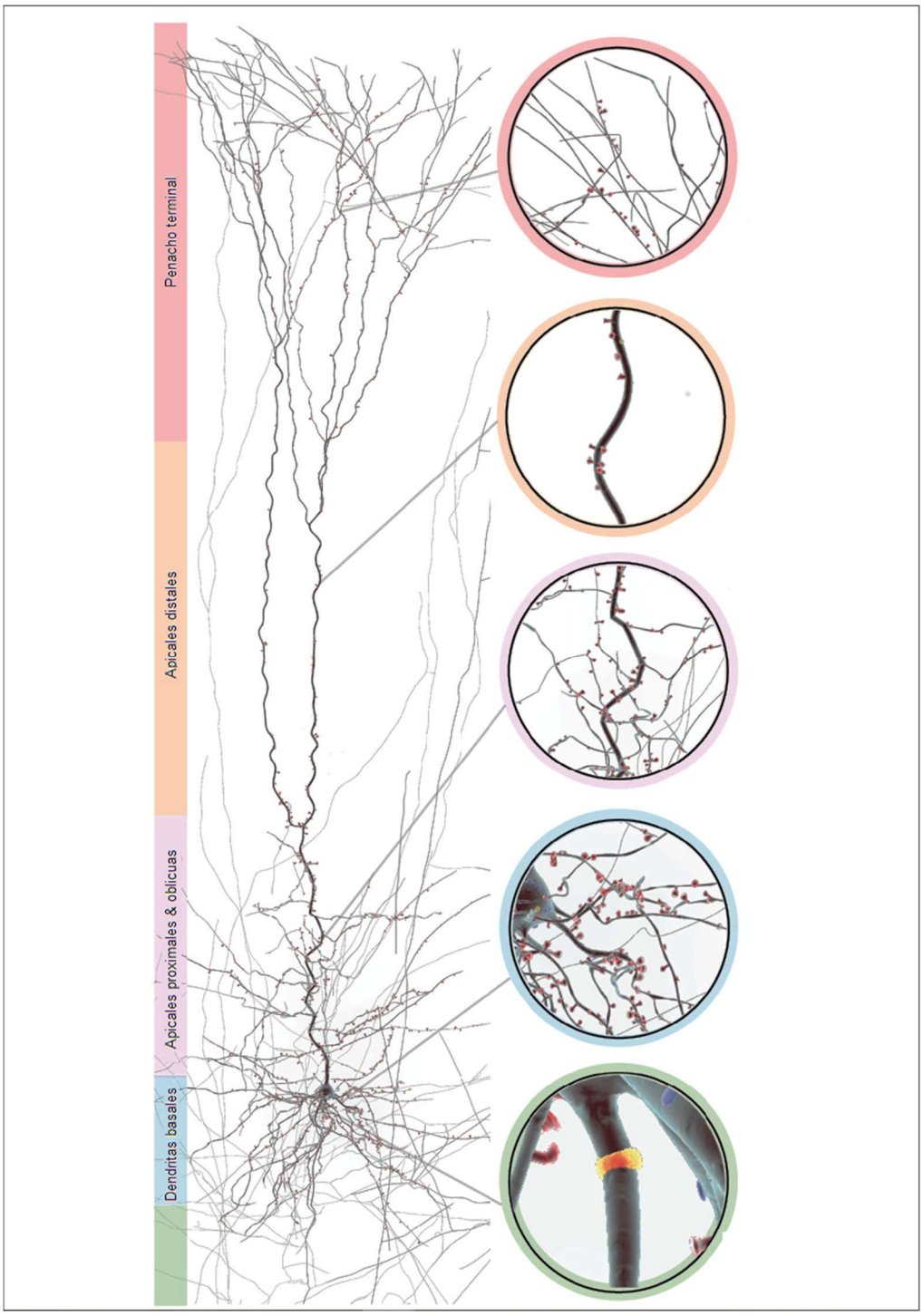


Fig. 10. Esquema general de una neurona piramidal donde se representan las áreas que esta tiene. Se puede observar la región del árbol dendrítico apical que abarca la dendrita apical principal y el penacho dendrítico, mientras que la región de la dendrita apical principal posee una porción distal y una porción proximal donde se encuentran dendritas oblicuas. Se puede observar un soma triangular. Así como el área del árbol dendrítico basal.

Las células piramidales representan aproximadamente el 70% de toda la población neuronal de la corteza cerebral, y son más abundantes en las capas II-III y V-VI (Pimienta & Arteaga, 2004; Valverde, 2002). Su aspecto es claramente diferencial: muestran un tallo apical, o dendrita apical que, en la mayoría de los casos, alcanza la capa I, en donde se ramifica en numerosas colaterales divergentes, y un abanico de dendritas basales originadas en el cuerpo celular que alcanzan distancias variables. En algunos casos las dendritas apicales resultantes se dividen nuevamente. Dendritas apicales oblicuas emanan de la dendrita apical principal desde varios ángulos. Mientras estas son características de las neuronas piramidales, estas pueden variar considerablemente entre diferentes capas, regiones corticales y especies (como podemos apreciar en la figura 11. Se notan diferencias morfológicas entre las neuronas piramidales de las capas II/III y V de la neocorteza, así como las de CA3 y CA1 del hipocampo y el subcolículo).

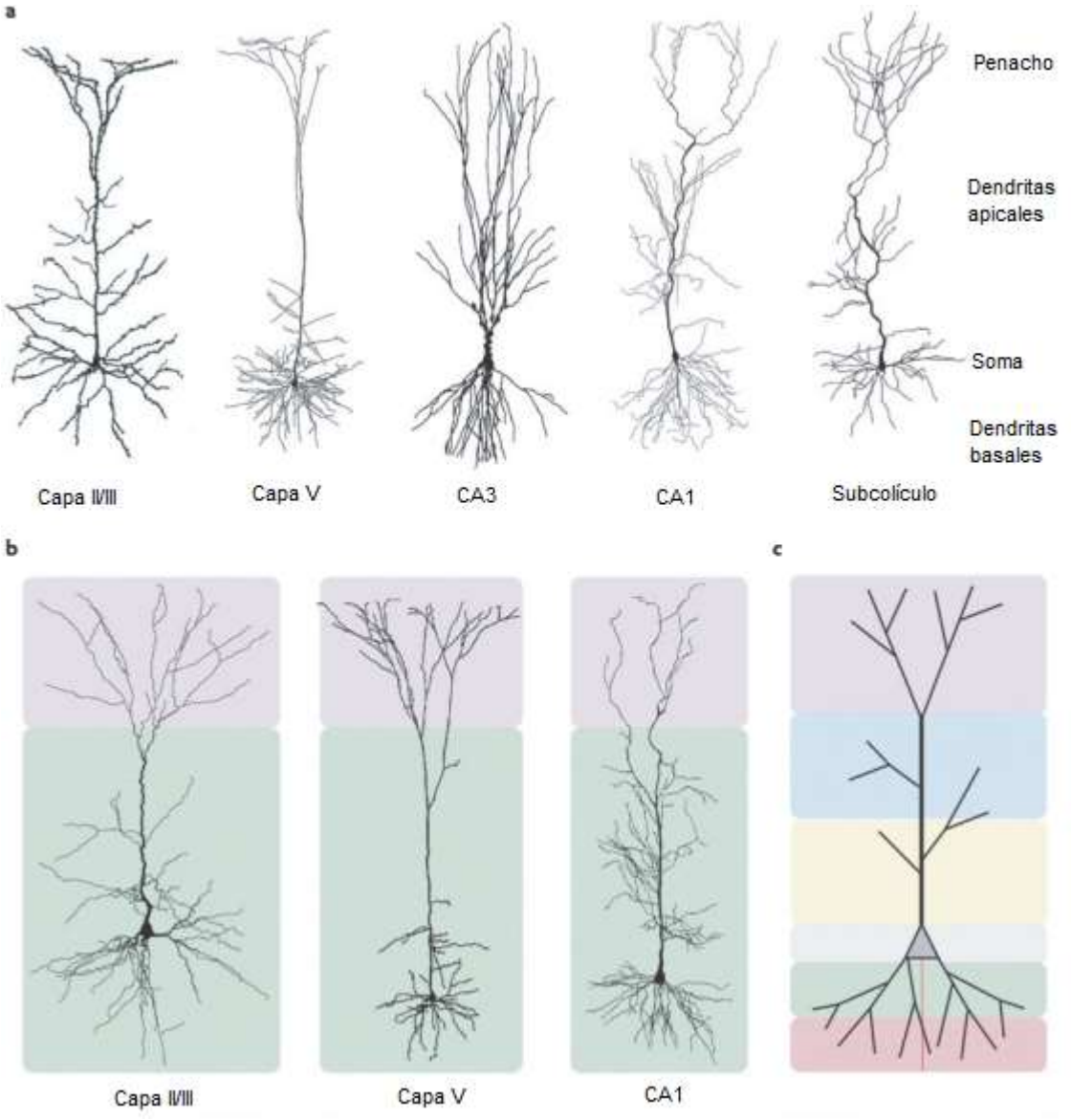


Fig. 11. a) Se muestran neuronas piramidales de la neocorteza (Capa II/III y Capa V), así como neuronas piramidales del hipocampo (CA3 y CA1) y el subcolículo. b) Se muestran las dendritas apicales resaltadas por un fondo purpura y las dendritas basales resaltadas por un fondo verde. c) muestra un esquema de neurona piramidal donde se muestran diversas áreas de la neurona (Spruston, 2008).

Una característica fundamental, tanto de las dendritas apicales como de las basales de las células piramidales, es que están cubiertas de espinas dendríticas, pequeños procesos colaterales, que aumentan considerablemente la superficie receptora de las dendríticas.

Las neuronas piramidales corticales en las capas infragranulares proveen las mayores eferencias de la corteza y por lo tanto son importantes moduladores de procesos sensoriales y motores. Estas neuronas se encuentran conectadas recíprocamente con el tálamo y entre sí. Muchos intentos se han hecho desde hace más de 100 años para poder clasificar los diferentes subtipos de neuronas corticales basados en sus similitudes morfológicas y fisiológicas. Sin embargo, los límites entre distintos subtipos de neuronas corticales permanecen sin estar claros. Las neuronas piramidales de la capa Va se presentan como una población morfológicamente uniforme que no consiste de ninguna subclasificación morfológica obvia ni muestra ninguna correlación entre morfología y electrofisiología intrínseca (Schubert et al, 2006).

Las células piramidales son las neuronas más típicas y abundantes de la corteza cerebral, constituyendo la principal fuente de sinapsis excitatorias corticales y se encuentran en todas las capas corticales con excepción de la capa I, representando del 70 al 85% de la población total de neuronas en la corteza de los mamíferos, así como en el hipocampo (Romand et al, 2011). Además, son virtualmente las únicas células de proyección de la corteza cerebral. Es decir, la información que se procesa en una región dada de la corteza sale de ella a través de los axones de las células piramidales para alcanzar otras áreas corticales o núcleos subcorticales. Antes de la introducción del método de Golgi, las principales características que se conocían sobre la morfología de las células piramidales eran que poseían una prominente dendrita dirigida hacia la superficie cortical con algunas ramificaciones, varias dendritas cortas y sin ramificaciones que surgían de la base del soma, y la identificación de un axón que descendía hacia la substancia blanca sin ramificarse.

Estas neuronas bastante especializadas presentan sobre sus dendritas unos pequeños salientes a modo de alfileres o palillos de otras células y aumentan extraordinariamente la superficie de la célula destinada a estos contactos. Suelen presentar aspectos inconfundibles, caracterizando determinadas regiones del

encéfalo, como ocurre en las células de Purkinje del cerebelo o las neuronas piramidales de la corteza cerebral.

La principal fuente de información de la corteza cerebral se origina de las áreas corticales y núcleos subcorticales. Estas aferencias proyectan a distintas áreas y capas de la corteza cerebral y terminan principalmente en las espinas dendríticas de las células piramidales (Supèr et al, 1998). La morfología de estas espinas dendríticas tiene una relevancia funcional directa, puesto que están relacionadas con características sinápticas aferentes relevantes (Benavides-Piccione et al, 2002).

1.2.2. Neuronas piramidales dentro de la corteza cerebral de rata

Las dendritas apicales de las células piramidales de cada capa atraviesan verticalmente todas las capas superiores, estableciendo contactos sinápticos de cada una. La última capa piramidal en madurar es siempre la más superficial, la cual se encuentra localizada inmediatamente debajo de la capa I. El número reconocible de capas de células piramidales que se encuentran entre la capa I. Existen diferentes capas según se trate, por ejemplo, 6 en primates y 7 en humanos (Marín-Padilla, 1998) (Figura 12).

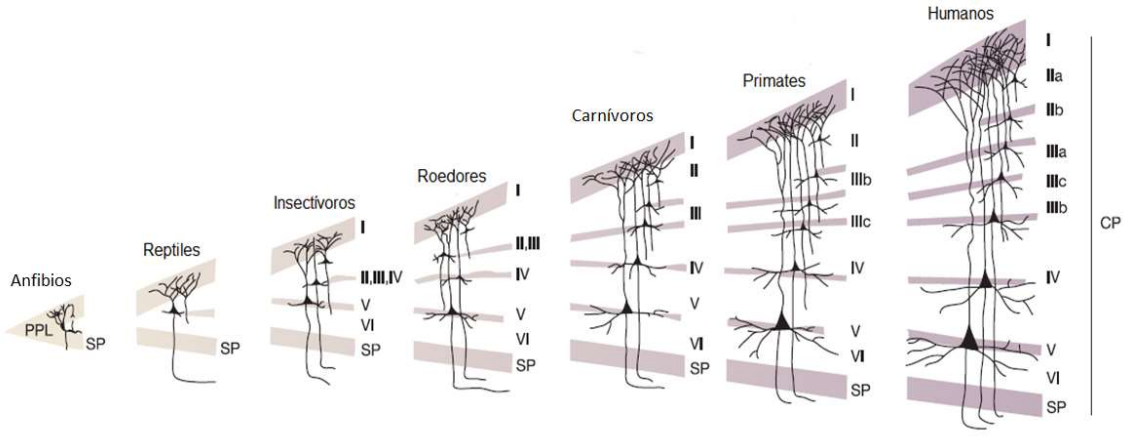


Fig. 12. Capas reconocibles de células piramidales en diferentes familias de organismos. (Marín-Padilla, 1998; Hill & Walsh, 2005).

El intercambio de información entre ambos hemisferios corticales es esencial para una variedad de procesos cognitivos como percepción, memoria, atención y aprendizaje, la información es directamente transferida entre los hemisferios mediante axones de una subpoblación especializada de neuronas piramidales a través del cuerpo calloso (Le Bé et al., 2007).

Aunque hay que tener en cuenta que la corteza cerebral en los mamíferos es similar y que se encuentra compuesta por el mismo tipo celular y una composición laminar similar, debemos considerar que similar, no significa igual y no considerar que la circuitería cortical es la misma en diferentes especies (Guy, 2003). Así, se ha considerado que el fenotipo expresado de las células piramidales puede estar fuertemente asociado con la complejidad de la circuitería cortical, actividad neural y funciones cognitivas asociadas (Travis et al., 2004).

Las neuronas neocorticales en general pueden ser categorizadas en piramidales (glutamatérgicas o eferentes) y no piramidales (interneuronas o de circuito local) en base a su morfología somatodendrítica (Parnavelas, 2000; Pimienta, 2004), pero existen muchas variaciones y subdivisiones posibles dentro de estas dos categorías (Larkman & Mason, 1990). La forma y el tamaño de las neuronas son muy diversos, y en cada zona del sistema nervioso se encuentran morfologías características (Anadón, 1995). Las neuronas piramidales son predominantes neuronas de proyección de la neocorteza.

Algunas de las variaciones en la morfología dendrítica piramidal está relacionada con la localización laminar del soma, pero incluso dentro de una misma capa, las células pueden tener patrones dendríticos distintos que se correlacionan con sus objetivos de proyección, en la capa V las neuronas piramidales TTLC proyectan a objetivos subcorticales como tectum, tallo cerebral o espina dorsal (Le Bé et al., 2007) (Figura 13).

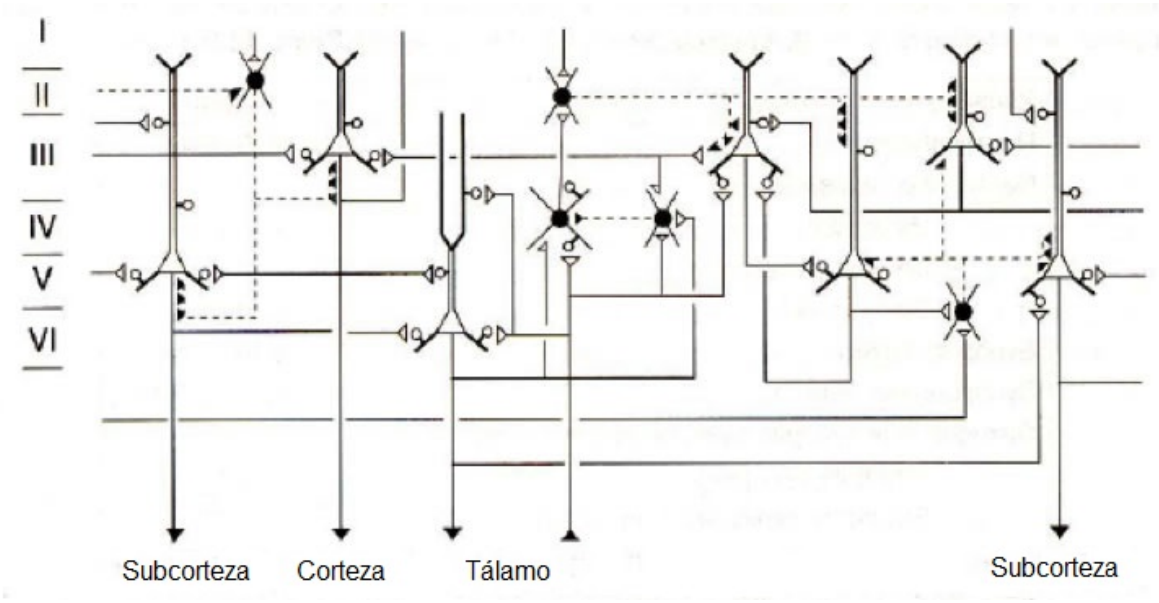


Fig. 13. Organización cortical de algunas neuronas y sus proyecciones. Se puede observar la disposición cortical de las neuronas piramidales. Podemos observar que se encuentran en las capas II/III, V y VI y las proyecciones de las mismas a estructuras corticales, subcorticales y talámicas.

Existen neuronas piramidales en la capa IV que se caracterizan por una “falda” de dendritas basales que se han encontrado en el área visual primaria de rata (Egger et al., 2008; Kaneko, 2013). Estos tipos celulares encontrados en la capa IV han sido referidas como L4 piramidales (py), estrelladas piramidales (sp), espinales estrelladas (ss). Las “py” poseen un penacho apical estrecho que termina en la capa I, las “sp” no se extiende más allá de la capa II y no posee un penacho apical, mientras que las “ss” no posee una dendrita apical (Oberleander et al., 2011).

1.2.3. Modelo morfológico general de la neurona piramidal de la capa V

Las células piramidales de la capa V son las más grandes de la neocorteza. Tienen un cuerpo somático en forma de pirámide y una dendrita apical que se extiende hasta la capa I de la corteza. Estas neuronas también poseen una gran superficie dendrítica en su estado maduro, pues poseen una gran cantidad de espinas dendritas que le ayuda a aumentar dicha superficie, mientras que al

principio de su desarrollo apenas y llegan a tener una mínima cantidad (se pueden notar hasta dos espinas dendríticas). Estas espinas dendríticas son de suma importancia, ya que gracias a ellas las neuronas piramidales pueden aumentar su superficie receptora en respuesta a las necesidades motoras del organismo sin perder su anclaje original con la capa I, ni su nivel o estrato cortical. Estas neuronas se caracterizan por tener la más amplia arborización dendrítica y axonal local.

Dentro de la capa V de la neocorteza se identifica una capa superior Va y una capa inferior Vb (Schubert et al, 2006). Estas últimas son las más estudias y las que han sido consideradas como las neuronas representativas de la capa V. En la capa Vb se encuentran neuronas piramidales con una morfología estereotípica y una prominente dendrita apical. La población de neuronas piramidales ubicada en la capa Va poseen dendritas apicales delgadas que proyectan a través de los hemisferios hacia el cuerpo calloso, las neuronas TTC5 proyectan principalmente a regiones subcorticales. La morfología general de las neuronas TTL5 en la corteza somatosensorial de los roedores es caracterizada por un soma triangular, dos dominios dendríticos distintivos que emanan de la base y el ápice del soma, y un solo axón del que surgen varias ramas colaterales que se bifurcan y ramifican exuberantemente en la neocorteza, en específico en la capa II/III (Chagnac-Amitai et al., 1990). Las dendritas apicales se ramifican en dendritas oblicuas y terminan con un “penacho” ancho dendrítico en forma de corona en la capa I (Ramaswany & Markram, 2015).

1.2.4. Morfología de las neuronas piramidales de la capa V

Las células piramidales de penacho ancho de la capa 5 (TTCs por sus siglas en inglés) tienen características morfológicas únicas, y varían ampliamente en el tamaño de sus dendritas, área de superficie, y la complejidad de su patrón de ramificación. Poseen una dendrita apical más larga y con pocas ramificaciones oblicuas en el ápice, lo que crea una especie de penacho dendrítico. En ocasiones la dendrita de esta neurona puede llegar a bifurcarse, creando dendritas apicales

gemelas, que a su vez vuelve a bifurcarse y generan el penacho dendrítico. La heterogeneidad de las neuronas piramidales de la capa 5 contribuye a la dificultad para comparar las características estructurales de grupos de estas células.

1.2.5. Neuronas piramidales tipo TTL5

Golgi contribuyó al conocimiento de la morfología de las células piramidales con dos importantes observaciones: el descubrimiento de la compleja arborización de las dendritas y la demostración de que el axón emite colaterales durante su trayectoria hacia la sustancia blanca. Cajal, usando también el método de Golgi, añadió a estas observaciones morfológicas que la dendrita apical de muchas células piramidales termina formando un rico penacho de ramas dendríticas y, especialmente, que la superficie de las dendritas está cubierta de espinas (De Felipe, 2005).

Dentro de la capa V, las células piramidales son heterogéneas y proyectan al hemisferio ipsilateral, el hemisferio contralateral o a objetivos subcorticales. Dos grandes clases de las neuronas piramidales de la capa V han sido descritas. La primera clase denominada “De penacho ancho” (Thick-Tufted en inglés), caracterizadas por una dendrita apical de penacho ancho. Varias dendritas oblicuas emergen de la dendrita apical principal antes de ser bifurcadas a una distancia variable del soma para dar lugar a dendritas de penacho, las cuales usualmente se ramifican de manera extensa en la capa I. Estás neuronas TTL5 proyectan al colículo superior, a la médula espinal y tienen a descargar ráfagas de potenciales de acción. La segunda clase es denominada “delgadas sin penacho”, las cuales terminan sin dendritas de penacho terminales y nunca disparan ráfagas (Van Aeder & Feldmeyer, 2013). Esta clase de neuronas proyectan al hemisferio ipsilateral o al hemisferio contralateral vía cuerpo calloso.

Las neuronas piramidales son neuronas de proyección de la neocorteza. Las neuronas piramidales de penacho ancho de la capa V, son los tipos celulares neocorticales más estudiados y están caracterizadas por una estructura

morfológica exquisita. A pesar de su morfología característica, las neuronas TTL5 en el microcircuito neocortical, muestran una diversidad intrínseca que vuelve a cada neurona morfológicamente única.

El árbol dendrítico característicamente comprende un tronco apical ascendiente del ápice de un soma en forma de pirámide, con dendritas oblicuas emanando de varios ángulos del tronco y penachos terminales en la capa I y delgadas dendritas basales emanan de la base del soma e irradian hacia afuera en todas direcciones. El axón arboriza profusamente dentro de una distancia de 300-500 μm para formar conexiones locales, dando pie a conexiones horizontales intracorticales que conectan columnas neocorticales y otras regiones del cerebro y también proyectan a áreas subcorticales (Hattox & Nelson, 2007).

La arborización dendrítica y axonal de neuronas TTL5 es la más extensa y, por lo tanto, delinea las dimensiones máximas del microcircuito neocortical local. La expansión de los árboles dendríticos y axonales TTL5 corresponden apenas a las dimensiones de columnas neocorticales funcionales que han sido identificadas en gatos y otras especies mayores. Mientras que los roedores no presentan tal compartamentalización funcional distintiva de la lámina neocortical, los mismos microcircuitos pueden ser definidos basados en todas las neuronas que pueden ser conectadas por la arborización axonal local de neuronas TTL5 (Ramaswany et al, 2012).

La variación regional en el fenotipo de las células piramidales merece atención porque parece estar fuertemente asociado con la complejidad del circuito cortical, actividad neuronal y funciones cognitivas.

En los mamíferos, no se originan nuevas neuronas pasado el periodo postnatal (salvo contadas excepciones), en consecuencia, no son reemplazables. Sin embargo, las prolongaciones neuronales y sus relaciones con otras neuronas, pueden experimentar cambios morfológicos y funcionales a lo largo de la vida del individuo. Asimismo, en el sistema nervioso periférico las neuronas tienen una notable capacidad de reparar prolongaciones dañadas (Álvarez, 1995).

2. JUSTIFICACIÓN

Las nuevas tecnologías del software y hardware y su uso en la educación están modificando sustancialmente las formas de enseñanza-aprendizaje. Aunque resulta indudable que para aprender se tiene que estudiar, en este siglo se tiene la posibilidad de contar con nuevas herramientas de aprendizaje. Por ejemplo, no es lo mismo ver una célula dibujada en formato 2D estática en un libro, verla al microscopio como un punto teñido de color, o imaginarla, que verla en un formato 3D y manipularla. Las ramas de los árboles dendríticos se proyectan en todas las direcciones tal como lo hacen las ramas de un árbol, de ahí su nombre. También esas ramas alcanzan longitudes diferentes y le llegan terminales axónicas a diferentes niveles y de diferentes partes del cerebro. En el laboratorio de Biología Interactiva de la Escuela de Biología se pretende realizar innovaciones en los materiales de enseñanza-aprendizaje; particularmente, en este trabajo se desarrollaron tres modelos de neuronas piramidales con características morfológicas diferentes, que permitan al alumno visualizarlas desde diferentes ángulos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar cuatro tipos de materiales digitales: modelos celulares 3D, modelos realidad aumentada, video y multimedia, sobre la morfología diferencial de los dos tipos más abundantes de neuronas piramidales de la capa 5 de la corteza somatosensorial de rata.

3.2. OBJETIVOS PARTICULARES

1. Elaborar tres modelos computacionales 3D, de los dos tipos más representativos de neuronas piramidales de la capa 5, de corteza somatosensorial de rata: TT1-BD y TT2-BP.
2. Realizar la morfometría de 10 parámetros morfológicos básicos.
3. Comparar la morfometría entre los tres modelos neuronales.
4. Implementar los modelos neuronales 3D a la realidad aumentada, con aplicación para dispositivos móviles (Android y iOS), Augment.
5. Elaborar video del modelo de realidad aumentada.
6. Elaboración de módulo multimedia para fines didácticos.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Características del hardware utilizado

Para la creación de los modelos tridimensionales de neuronas piramidales se utilizó el software de distribución libre Blender v.2.77a (última versión), el cual cuenta con los siguientes requerimientos:

Requerimientos mínimos:

- CPU de doble Núcleo de 32-bit a 2Ghz con soporte SSE2.
- 2 GB de RAM
- Display de 24 bits 1280×768
- Mouse or trackpad
- Tarjeta gráfica compatible con OpenGL de 256 MB de RAM

Requerimientos recomendados:

- CPU de cuatro núcleos de 64-bit
- 8 GB de RAM

- Display Full HD con colores de 24 bits
- Mouse de tres botones
- Tarjeta gráfica compatible con OpenGL de 1 GB de RAM

Requerimientos óptimos (Grado de producción):

- CPU de 8 núcleos de 64 bits
- 16 GB de RAM
- Dos pantallas Full HD con colores de 24 bits
- Mouse de tres botones y tableta gráfica
- Dos tarjetas gráficas compatibles con OpenGL de marca de calidad con 3 GB de RAM

Para la realización de los modelos tridimensionales, y según los requerimientos recomendados para el uso del programa Blender, se utilizó una laptop con las siguientes características:

- CPU de cuatro núcleos a 2.4Ghz
- 8 GB de RAM
- Mouse de tres botones
- Tarjeta gráfica NvidiaGeForce GT 755M de 2 GB de RAM
- Conexión a internet para subir los modelos tridimensionales al servidor de Augment para su posterior uso en su aplicación de realidad aumentada.
- Dispositivo móvil Android con versión 2.3.3 o superior, o dispositivo iOS con versión 6.0 o superior, así como tener instalada la aplicación Augment.

Para subir los archivos a la plataforma de Augment, se requiere crear una cuenta, así como tener en cuenta la cantidad que la cantidad de polígonos debe ser menor a un millón.

Para lograr subir los modelos a la plataforma de Augment, estos fueron exportados como archivos Wavefront (.obj).

Se utilizó el programa WinRAR para comprimir los archivos en formato ZIP para subirlos de manera manual a la plataforma de Augment.

Para la realización del video en realidad aumentada se utilizó una serie de imágenes (760), las cuales fueron tomatadas dentro del mismo programa Blender, a su vez, estas imágenes fueron utilizadas en el programa Moviemaker para lograr hacer un video de 1 minuto de duración.

Para la realización del multimedia se utilizó VisualStudio 2015, en este multimedia se encuentran datos generales de las neuronas piramidales, así como de las neuronas piramidales de la capa V, también se puede visualizar de forma automática el video creado, así como una tabla de la morfometría obtenida de las tres neuronas ocupadas para su reproducción en modelos 3D y la implementación de los mismos en realidad aumentada.

Para la morfometría se ocupó el artículo de Hay et al, 2013. Donde se utilizó su escala de 3mm = 100 µm. Para lograr medir dichos parámetros morfológicos se utilizó el prograba Adobe Acrobat, el cual posee una herramienta de medición con la cual se midió la distancia de puntos iniciales a puntos terminales.

4.2. Construcción en 3D de neuronas piramidales

Como ejemplo de aplicación de modelaje en 3D y de la realidad aumentada se usó como base el trabajo de Hay et al. de 2013. Estos autores construyeron 28 morfologías de TTCs de ratas Wistar jovenes que usaron para estudiar y explorar los efectos de la diversidad morfológica dendrítica sobre las características de disparo axosomáticas, las cuales fueron ordenadas con respecto a su área de superficie total de la membrana (Figura 14).

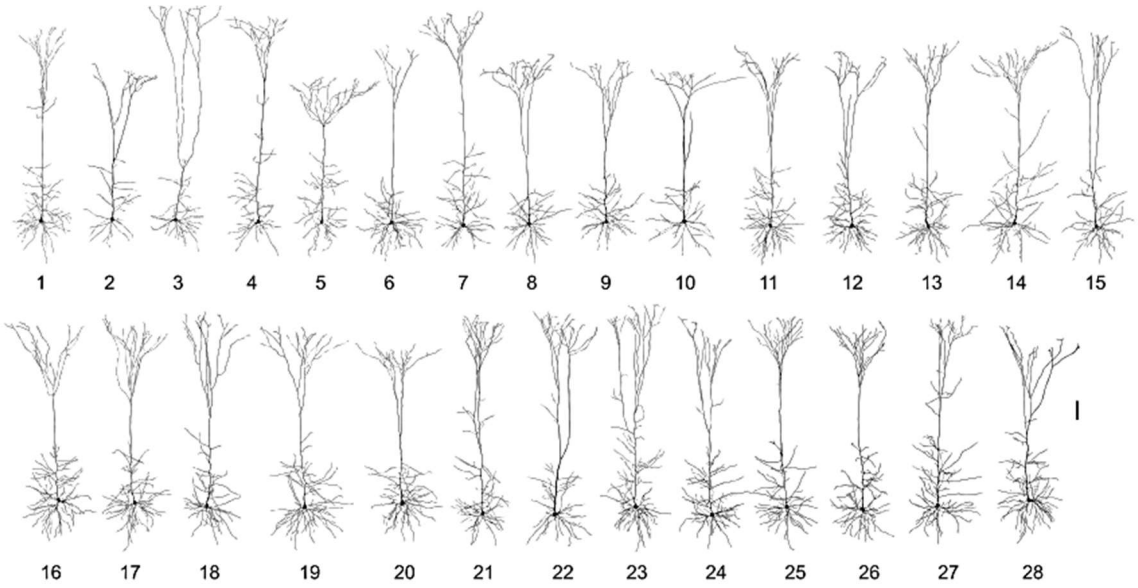
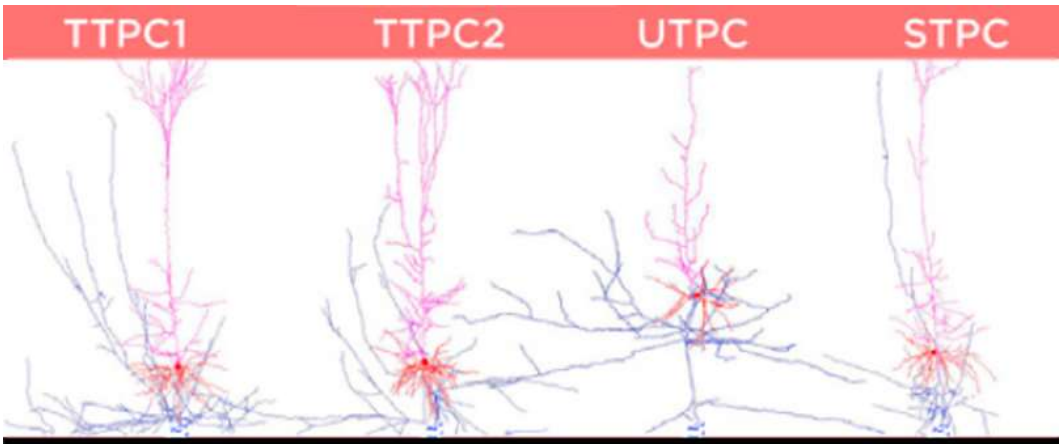


Fig. 14. Variabilidad de la morfología dendrítica en células piramidales de la capa 5 (TTCs). Se muestra el conjunto de 28 TTCs de ratas jóvenes (Edad postnatal: *día 14*), reconstruidas en tres dimensiones que fueron usadas en el presente estudio de modelaje. La barra de escala es de 100 µm (Hay et al, 2013).

Específicamente, para el presente trabajo se ocupó la subclasificación creada por Markram et al, 2015, donde se clasifican a las neuronas piramidales de penacho grueso de la capa V en dos tipos TTPC1 (Thick Tufted cell 1 por sus siglas en inglés) y TTPC2 (Thick tufted cell 2 por sus siglas en inglés) (Figura 15), las cuales están clasificadas en base a su bifurcación apical en su porción distal y proximal respectivamente, y esta bifurcación tiene que terminar en el área del penacho.



Subclasificación de las neuronas piramidales de la capa V		
1	L5-STPC	Célula piramidal de penacho angosto
2	L5-TTPC1	Célula piramidal de penacho grueso, con bifurcación distal del tallo dendrítico
3	L5-TTPC2	Célula piramidal de penacho grueso, con bifurcación proximal del tallo dendrítico
4	L5-UTPC	Célula piramidal sin penacho

Fig. 15. Subclasificación de NP-TTL5 realizada por Markram et al, 2015. Se pueden observar cuatro tipos de neuronas piramidales encontradas en la capa V de la corteza. Donde se encuentras las TT1-BD que son con bifurcación de la dendrita apical en la porción distal y las TT2-BP que son las neuronas piramidales que se bifurcan en la porción proximal de la dendrita apical. Para esta clasificación dichas bifurcación deben terminar en el penacho dendrítico.

Diversos modelos tridimensionales se han hecho en un intento de clasificar a las neuronas piramidales con respecto a su morfología, así como con esta respecto a sus características fisiológicas. Schnabel et al., en 2008, menciona que la interacción con modelos 3D ayuda a mejorar la comprensión del espacio que, en comparación de los modelos bidimensionales, por lo que resulta más fácil la comprensión de estructuras complejas.

Existen algunos programas de cómputo para el modelaje tridimensional de neuronas. Por ejemplo, NEUROLUCIDA donde se pueden obtener

representaciones tridimensionales exactas de las neuronas como en el trabajo de Hay et al. (2013). Se reprodujeron 28 morfologías diferentes. Se encuentran en un banco de modelos neuronales en 3D en la página de www.neuromorpho.org en formato Java y no se pueden usar para realidad aumentada. En el presente trabajo se reconstruyeron 3 neuronas piramidales en formato 3D (Figura 16) que se pueden usar en realidad aumentada. Para este propósito, se construyeron con el programa Blender y para la realidad aumentada se usó la aplicación Augment de manera que se pueda usar de forma interactiva por el usuario en un espacio "real".

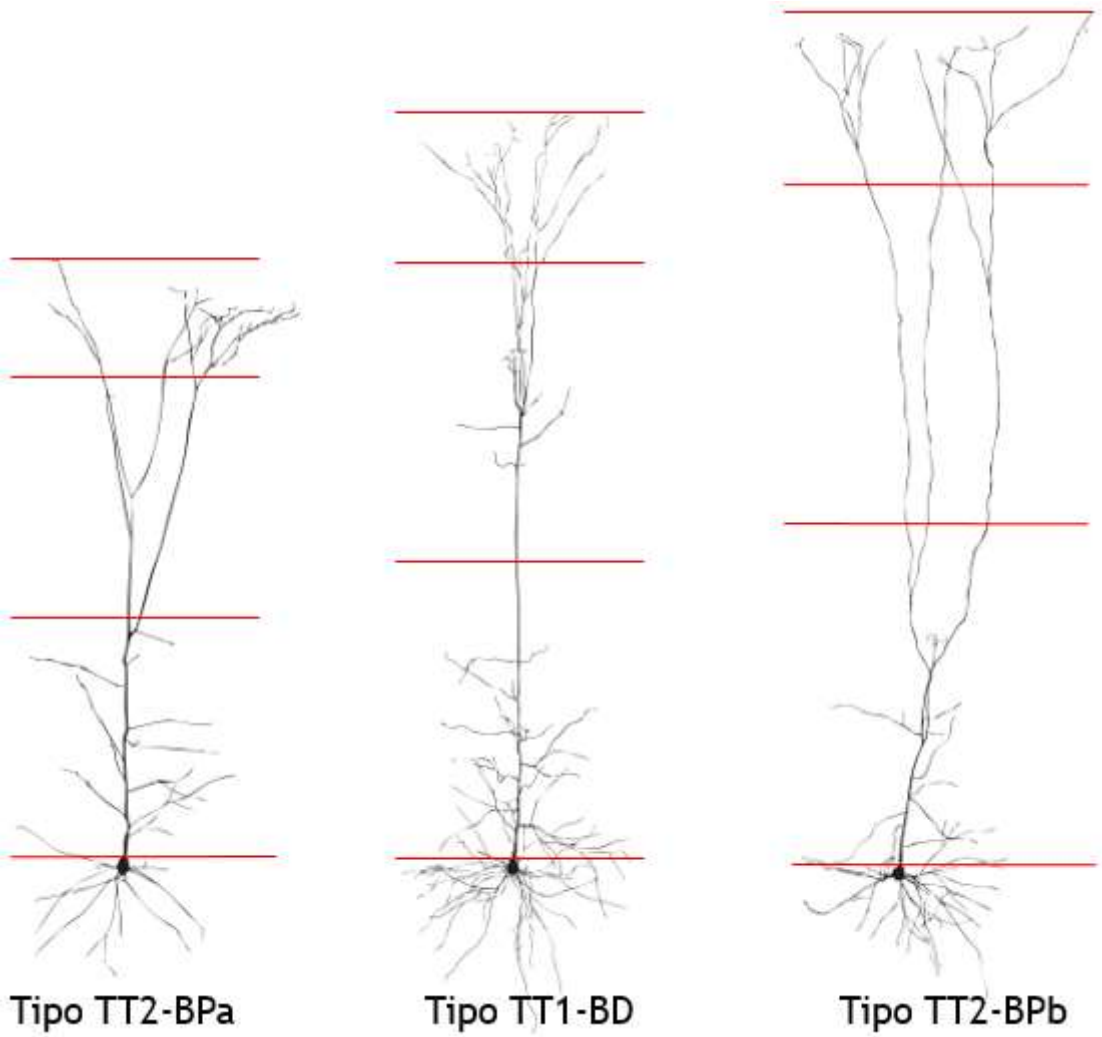


Fig. 16. Modelos tridimensionales ocupados para su reconstrucción en 3D y su implementación en realidad aumentada. 1. Neurona TT2-BPa, posee la dendrita apical más pequeña, con una longitud de 807.3 μm y un menor número de ramificaciones proximales y distales que la neurona anterior. 2.

Neurona TT1-BD, posee una dendrita apical de 1,006 μm, cuenta con un mayor número de ramificaciones basales y proximales. 3. Neurona TT2-BDb, posee el árbol dendrítico más extenso, con una longitud de 1,169.3 μm, posee un menor número de dendritas proximas y no posee ninguna dendrita distal. En las tres neuronas se pueden observar las secciones de la dendrita apical principal dividida en la porción de penacho, la porción distal y la porción proximal con lo cual se puede apreciar mejor a que subclasificación pertenecen.

4.3. Construcción de las neuronas en 3D con Blender

Para esto se tomó una esfera de la cual se fueron extruyendo las caras (las cuales fueron aumentadas para una mejor modelación) para poder formar las dendritas. Se tomó en cuenta su grosor y longitud. Se ocupó la herramienta de aumentar o disminuir, siguiendo las imágenes aumentadas como referencia. Se utilizaron herramientas de corte para aumentar las caras y poder modificar la estructura de la ramificación, haciéndola más delgada o más gruesa, según el modelo. Para lograr las curvaturas se utilizó la herramienta de rotación para lograr rotar las dendritas y poder lograr una mejor visión. Para determinar si una dendrita estaba en un plano más lejano o cercano se ocupó el grosor en la imagen, determinando que las más delgadas se encontraban en un plano más lejano, mientras que las más gruesas se encontraban en un plano más cercano. De esta manera se consiguió la creación de los modelos mencionados.

Los modelos creados de neuronas fueron a su vez ocupados para realidad aumentada. Gracias a la aplicación Augment, se logró la interacción con el modelo en tiempo real mediante el uso de un dispositivo móvil. Las imágenes fueron tomadas con la función de captura de pantalla de la misma aplicación donde se observan los tres modelos creados dentro de la aplicación en un ambiente real. En este caso sobrepuestos a la imagen de un corte histológico de un encéfalo de rata Wistar.

Para el desarrollo del multimedia se utilizó Visual Studio 2015 para su elaboración.

5. RESULTADOS

Se construyeron tres modelos tridimensionales de neuronas piramidales de la capa V de la corteza basado en la subclasificación TT2-BPa (Figura 17), TT1-BD (Figura 18) y TT2-BPb (Figura 19) de Markram et al, 2015, de la cual se reprodujeron estos tres modelos tridimensionales. Así como su implementación en realidad aumentada con ayuda de un dispositivo móvil y la aplicación Augment, disponible para Android y iOS. Para su estudio morfológico la neurona se divide en cuatro secciones: (1) soma, (2) árbol dendrítico basal, (3) dendrita apical principal con una porción proximal y otra porción distal y (4) penacho o mechón dendrítico.

5.1 Imagen de neurona TT2-BPa en 3D

La neurona TT2-BPa (Figura 19) tiene un árbol dendrítico basal con una menor cantidad de ramas dendrítas. Seis ramificaciones lo conforman con un promedio de 117.66 μm y estas a su vez no presentan tantas ramificaciones subsecuentes en comparación de las dos neuronas anteriores. Su rama dendrítica apical tiene una longitud de 807.3 μm. En su parte proximal cuenta con 10 ramificaciones con un promedio de 108.6 μm. Presenta una dendrita oblicua de 202.33 μm, las demás ramas que se presentan son bifurcaciones en la porción proximal que se extienden hasta el penacho en la parte superior de la neurona. Su penacho es de tipo ancho y posee 8 ramificaciones dendríticas que se ramifican aún más. Estas ramificaciones tienen un promedio de 120.6 μm. Las cuales proyectan hacia la parte superior, donde a su vez, dos de estas proyectan hacia la deracha y las 6 restantes hacia la izquierda. La amplitud de su árbol dendrítico basal es de 263 μm. Para la creación de este modelo fueron ocupados 64,210 vértices y 64,208 caras.

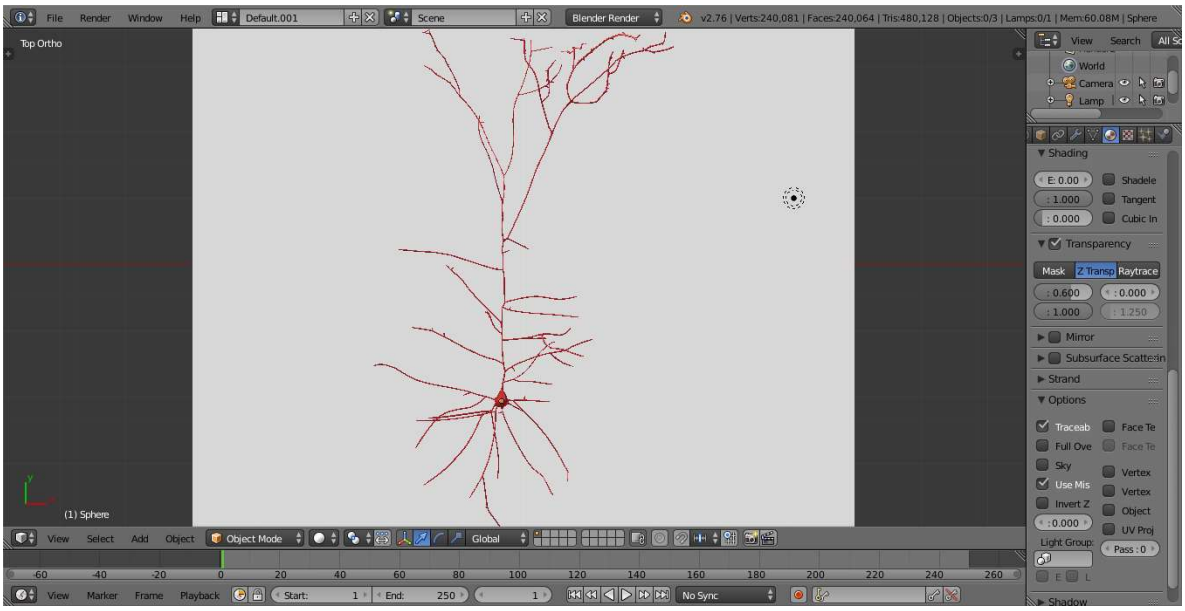


Fig. 19. Modelado tridimensional de una neurona TT2-BPa. Es la neurona con el árbol dendrítico apical más pequeño, posee ramificaciones en su parte proximal solo posee una ramificación y se extiende hasta el área del penacho, esta neurona cuanta con una escasa arborización dendrítica basal y a su vez estas no presentan más ramificaciones.

5.2. Imagen de neurona TT1-BD en 3D

La neurona TT1-BD (Figura 18) cuenta con un soma de forma piramidal, su árbol dendrítico basal cuenta con 12 ramificaciones con un promedio de 141 μm que a su vez se ramifican aún más, estas ramificaciones proyectan en todas direcciones. La dendríta apical tiene una longitud 1,006.3 μm. En su porción proximal presenta 12 ramificaciones con un promedio de 99.6 μm las cuales se ramifican aún más. 5 de las ramificaciones principales proyectan hacia la parte izquierada, mientras que las otras 7 ramificaciones se proyectan hacia la parte derecha. El area distal presenta 7 ramificaciones con un promedio de 99.6 μm de las cuales solo una presenta más ramificaciones. Tres de estas ramificaciones se proyectan hacia la parte derecha, mientras que las otras 4 se proyectan hacia la parte izquierda, a su vez, dos de estas ramificaciones se proyectan hacia la parte superior. El penacho es de tipo ancho y cuenta con 7 ramas dendríticas principales en el penacho, ya que comienza la bifurcación de la rama dendrítica apical en el área distal que llega

hasta el área del penacho. Estas dendritas tienen un promedio de 164.3 μm y se proyectan hacia la parte superior, donde a su vez 3 se proyectan hacia la izquierda y las otras 4 se proyectan hacia la derecha y presentan más ramificaciones. La amplitud de su árbol dendrítico basal es de 311 μm. Para la creación de este modelo se ocuparon 51,533 vértices y 93,855 caras.

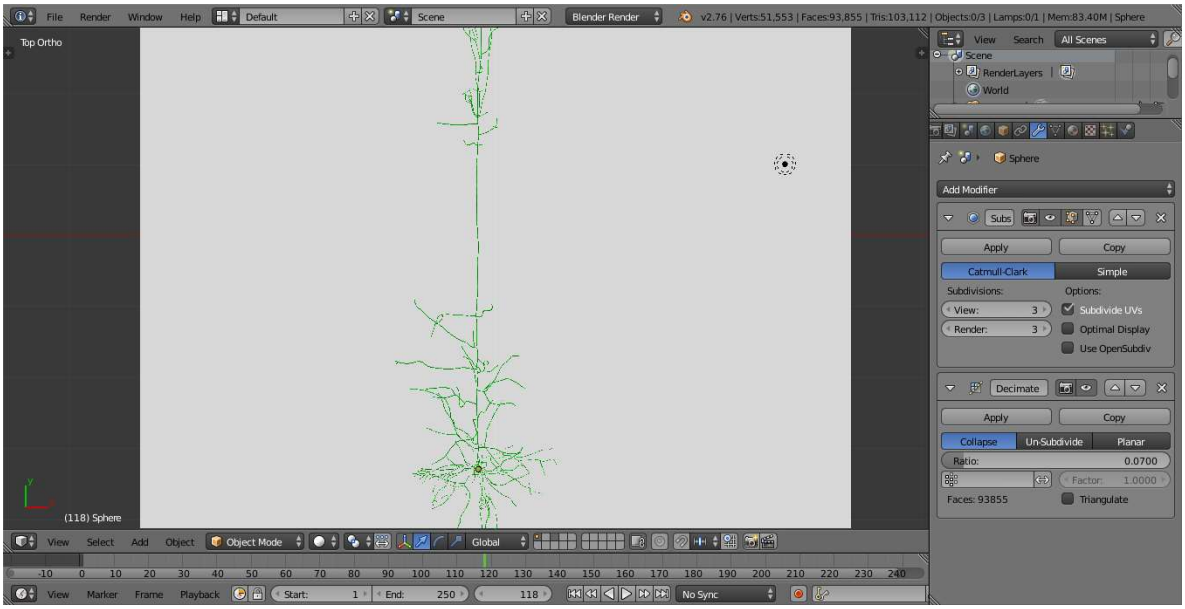


Fig. 18. Modelado tridimensional de una neurona TT1-BD. Esta neurona piramidal se encuentra localizada en la capa V y su ramificación dendrítica apical es más pequeña que el de la neurona anterior. Posee mayor cantidad de ramificaciones en su porción proximal y ninguna en su porción distal, la ramificación apical principal comienza ramificarse desde su porción distal y posee un árbol dendrítico basal más abundante y con un mayor número de ramificaciones subsecuentes.

5.3. Imagen de neurona TT2-BPb en 3D

En la neurona TT2-BPb (Figura 17) un soma en forma de pirámide que se encuentra localizado en la capa V de la corteza. Un árbol dendrítico basal que está compuesto por 9 ramas dendriticas que se bifurcan aún más, con una longitud promedio de 100.843 μm proyectadas en todas las direcciones. La dendrita apical principal tiene una longitud de 1,169.3 μm. La porción proximal de la dendrita

apical principal cuenta con 8 dendritas oblicuas proyectadas en todas direcciones. Tienen una longitud promedio de 112.6 μm. Tres de las cuales proyectan hacia la parte izquierda, mientras que otras cuatro proyectan hacia la parte derecha y una más proyecta hacia la parte superior. La porción distal de la dendrita apical no presenta ramas dendríticas, finalmente el penacho es del tipo ancho. Cuenta con 6 dendritas en el area del penacho, con otras que se alzan desde la zona proximal de la dendrita apical donde comienzan las bifurcaciones que alcanzan el área del penacho. Tres proyectan hacia el lado derecho y los otros tres al lado izquierdo, presentando a su vez ligeras ramificaciones. La amplitud de su árbol dendrítico basal es de 279.3 μm. Para la creación de este modelo se fueron necesarias 240,081 vértices y 240,064 caras.

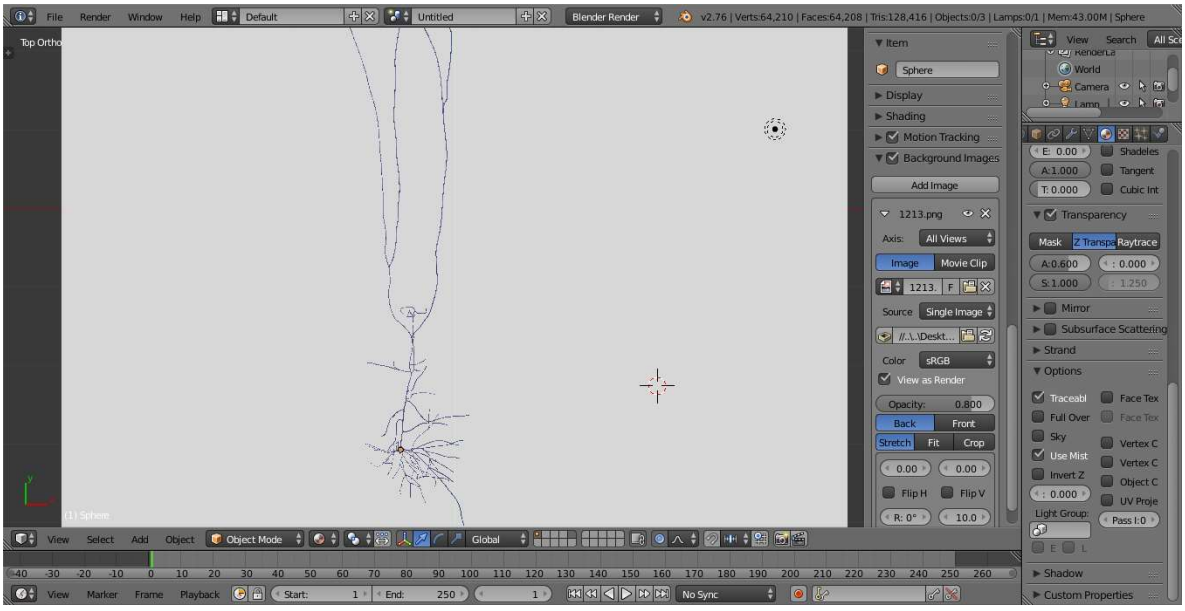


Fig. 17. Modelado tridimensional de una neurona piramidal TT2-BPb. Se observa un soma rodeado de rama dendriticas basales que se localizan en la capa V. la parte proximal de la dendrita apical cuanta con ramas dendrítas que se extienden hasta el penacho dendritico, el cual es del tipo ancho, la parte proximal no cuenta con dendritas oblicuas y el arbol dendritico basal es abundante con algunas ramificaciones oblicuas.

5.4. Morfometria de los modelos TT2-BPa, TT1-BD y TT2-BPb

Para comparar la morfometría de los modelos utilizados se consideraron los siguientes parámetros:

1. Longitud del árbol dendrítico apical (µm)
2. Número de dendritas principales de penacho
3. Número de dendritas oblicuas distales
4. Número de dendritas oblicuas proximales
5. Número de dendritas principales basales
6. Distancia de dendritas principales de penacho (µm)
7. Distancia de dendritas oblicuas distales (µm)
8. Distancia dendritas oblicuas proximales (µm)
9. Distancia de dendritas principales basales (µm)
10. Amplitud del árbol dendrítico basal (µm)

Estos datos fueron medidos mediante la herramienta “medir” del programa Adobe Acrobat®. Las distancias fueron medidas de los puntos iniciales a los puntos finales. Los datos se concentran en la tabla 1.

Parámetros	TT2-BPa	TT1-BD	TT2-BPb
Árbol dendrítico apical (µm)	**807.3**	**1,006.3**	**1,169.3**
Número de dendritas principales de penacho	**8**	**7**	**6**
Número de dendritas oblicuas distales	**1**	**7**	**NP**
Número de dendritas oblicuas proximales	**10**	**12**	**8**
Número de dendritas principales del árbol basal	**6**	**12**	**9**
Distancia promedio de dendritas principales de penacho (µm)	**120.6**	**164.3**	**167.6**
Distancia promedio de dendritas oblicuas distales (µm)	**202.3**	**99.6**	**NP**
Distancia promedio de dendritas oblicuas proximales (µm)	**108.6**	**99.6**	**112.6**
Distancia promedio de dendritas principales del árbol basal (µm)	**117.66**	**141**	**100.843**
Amplitud del árbol dendrítico basal	**263**	**311**	**279.3**

Tabla 1. Datos morfométricos de los tres modelos neuronales. Cada uno de los tres morfotipos presentan características particulares. NP: No presentó.

5.5. Ejemplos en realidad aumentada

Las neuronas construidas en formato 3D fueron usadas sobrepuestas a rebanadas de cerebro de rata. Con la tecnología utilizada fue posible ubicar a las neuronas en una parte de la corteza, sacarlas de ahí y poderlas mirar en 360º cuando se giran cada una de las neuronas. Durante esta práctica de movimiento de las neuronas se realizó un video que puede ser reproducido por el usuario independientemente del programa Blender.

Se crearon archivos de video mediante la ayuda del programa de modelado Blender, que tiene una función de creación de fotogramas, con los cual se tomaron 760 capturas de pantalla que después fueron utilizadas para crear el video mediante la ayuda del programa moviemaker, con lo cual se logró obtener un video de un minuto de duración, donde se muestra a las neuronas modeladas siendo manipuladas sobre una imagen de un corte histológico de encéfalo de rata wistar.

5.5.1. Neurona TT2-BPa en rebanada de cerebro de rata

La figura 20, muestra una toma de la neurona TT2-BP. Esta es la neurona más larga comparada con las anteriores. Su penacho es escaso y emerge de la parte proximal de la dendrita apical principal. A partir de este punto, la rama apical se bifurca para generar otras dos ramas que a su vez se vuelve a bifurcar, para generar un penacho ancho, largo pero escaso en ramas dendríticas, esta neurona no presenta ramificaciones en su porción distal.

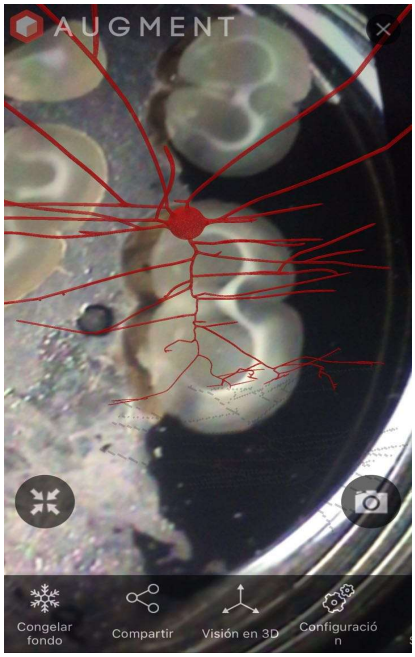


Fig. 20. Modelo TT2-BDa utilizado en la aplicación Augment. Se puede observar la interfaz de dicha aplicación, en donde nos dan opciones de centrado, de captura de pantalla. Congelar fondo

para volverlo estático, compartir dicho modelos, así como la visión en 3D donde se puede observar solo el modelo en 3D sin implementación en realidad aumentada. En esta imagen se muestra la parte basal del modelo, este modelo es caracterizado por tener un arbol dendrítico más pequeño y bifurcado.

5.5.2 Neurona TT1-BD en rebanada de cerebro de rata

La figura 21, muestra una toma de la neurona tipo TT1-BD. El usuario puede para el video en cualquier momento y observar cómo se ve la neurona en diferentes ángulos.

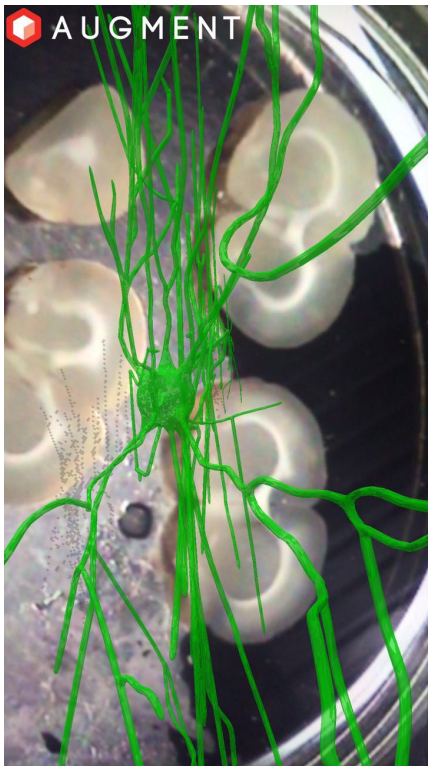


Fig. 21. Modelo TT1-BD siendo utilizado en la aplicación Augment. Aquí se observa a la neurona desde la parte inferior donde se pueden notar su soma, así como las ramificaciones basales que presenta.

5.5.3. Neurona TT2-BPb en rebanada de cerebro de rata

La figura 22, muestra una toma que corresponde a la neurona TT2-BPb, la cual no presenta muchas ramificaciones basales, pero si cuenta con ramificaciones proximales y tan solo una distal, el penacho de esta neurona se genera desde la parte distal para generar su penacho dendrítico.

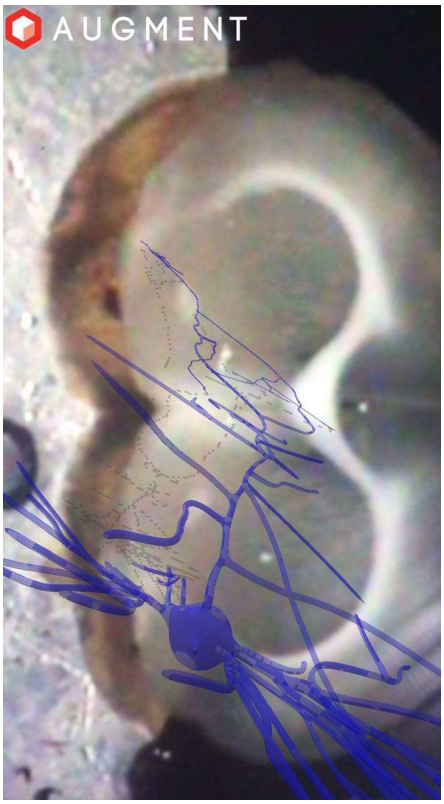


Fig. 22. Modelo TT2-BPb siendo utilizado en la aplicación Augment. La toma se realizó desde la parte basal. Al fondo y abajo se observa el árbol dendrítico basal. En este ejemplo, abarca mayor área que el penacho. Aunque se puede observar la dendrita apical y la extensión de la misma.

Los videos generados dentro se muestran en las figuras 23, 24 y 25 que corresponden a cada una de las neuronas descritas arriba donde se pueden observar a las neuronas en diferentes ángulos al ser manipuladas.

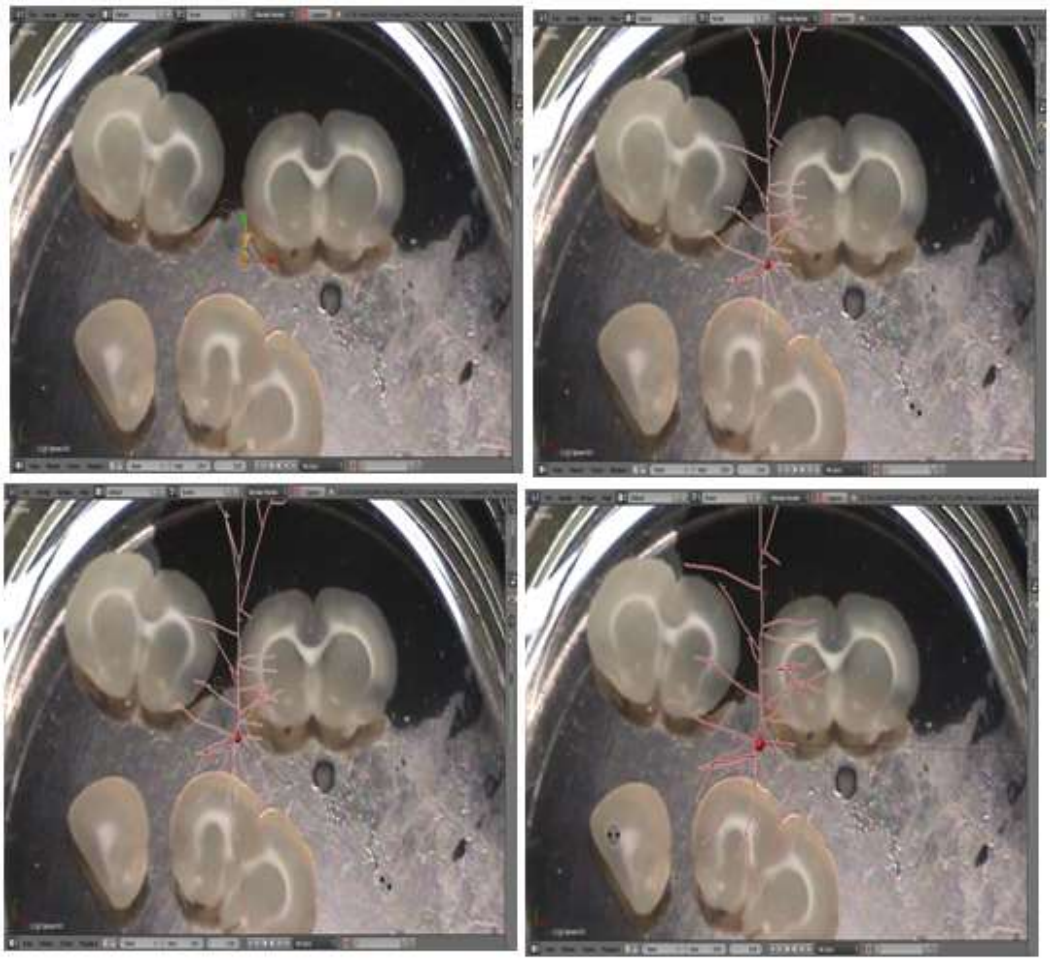


Fig. 23. Videogramas en realidad aumentada de la neurona tipo TT2-BPa.

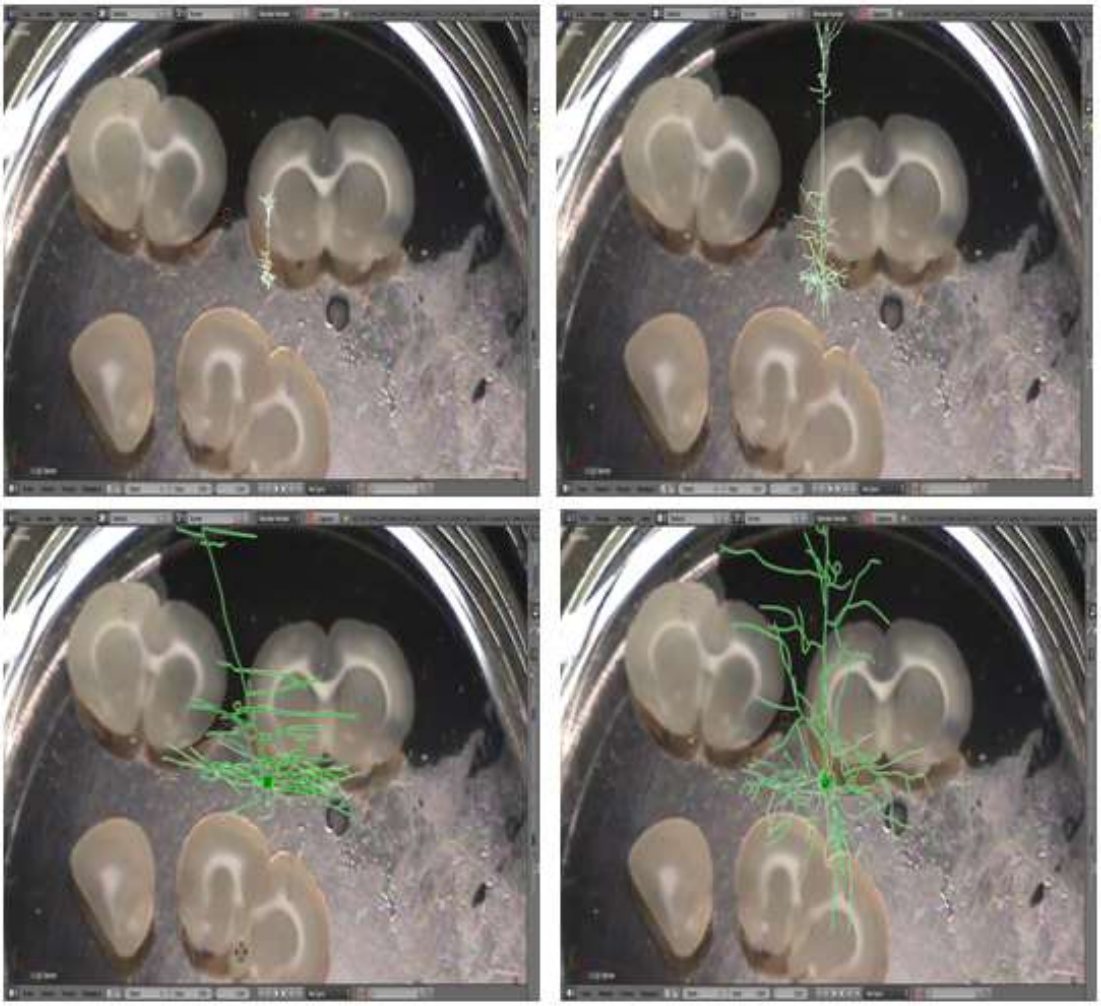


Fig. 24. Videogramas en realidad aumentada de la neurona tipo TT1-BD.

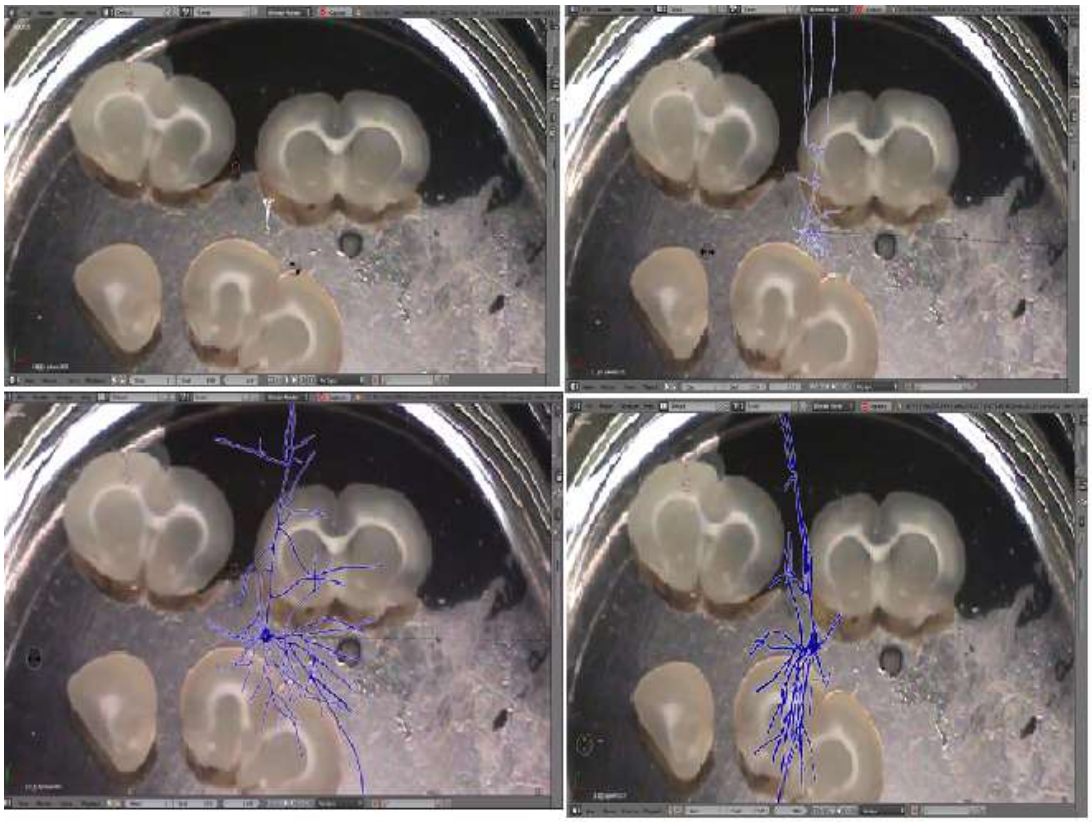


Fig. 25. Videogramas de la neurona tipo TT2-BPb.

5.5.4. Archivo Multimedia

En las figuras 26, 27, 28 y 29 se pueden observar la interfaz del multimedia realizado, donde se pueden observar 5 botones con las leyendas: Neuronas piramidales, Neuronas Piramidales TTL5, Modelos 3D, morfometría y salir. El primer botón nos abre una ventana donde se puede observar la estructura general de las neuronas piramidales, así como las características generales de este tipo de neurona, mientras el segundo nos abre otra ventana donde podemos observar las características de las neuronas piramidales TTL5 así como los morfotipos obtenidos por Hay et al, 2013. El tercer botón nos abre una nueva ventana donde se reproduce de manera automática el video creado en realidad aumentada. Mientras el cuarto nos abre una nueva ventana donde se muestra una tabla comparativa de la morfometría de las neuronas ocupadas para este trabajo. El último botón nos permite salir del programa.

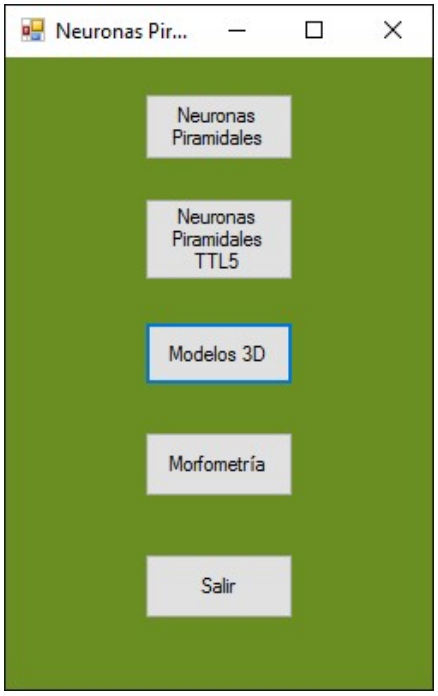


Fig. 26. Se puede observar la interfaz principal del multimedia creado con sus cuatro botones que nos abren diferentes ventanas y cerrar el programa. El primero para conocer las características generales de las neuronas piramidales. El segundo para conocer las características generales de las neuronas TTL5, el tercero para reproducir el archivo multimedia y el cuarto para salir del programa.

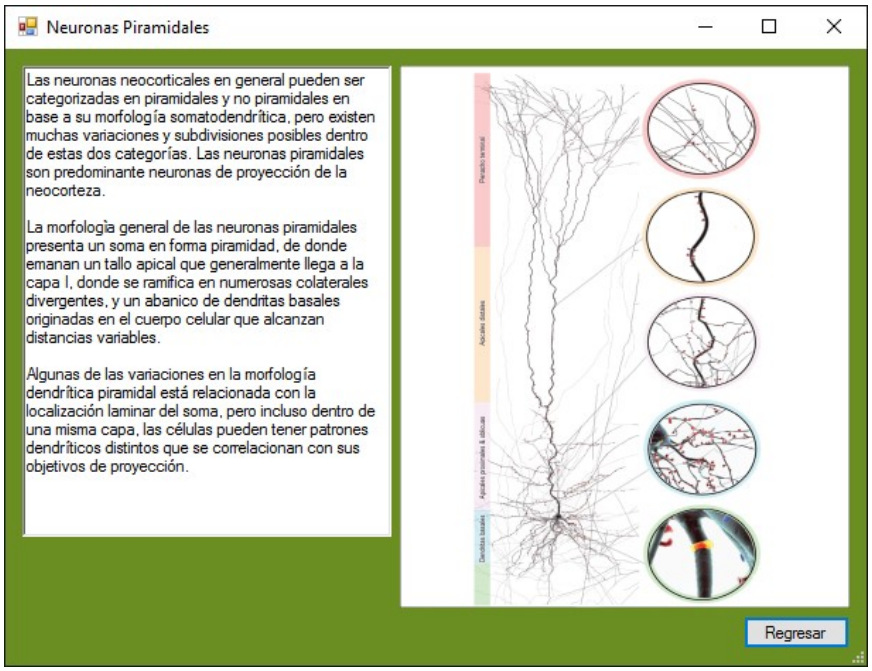


Fig. 27. Esta ventana nos describe las características generales de las neuronas piramidales y nos muestra un esquema donde se observan las distintas áreas que las componen.

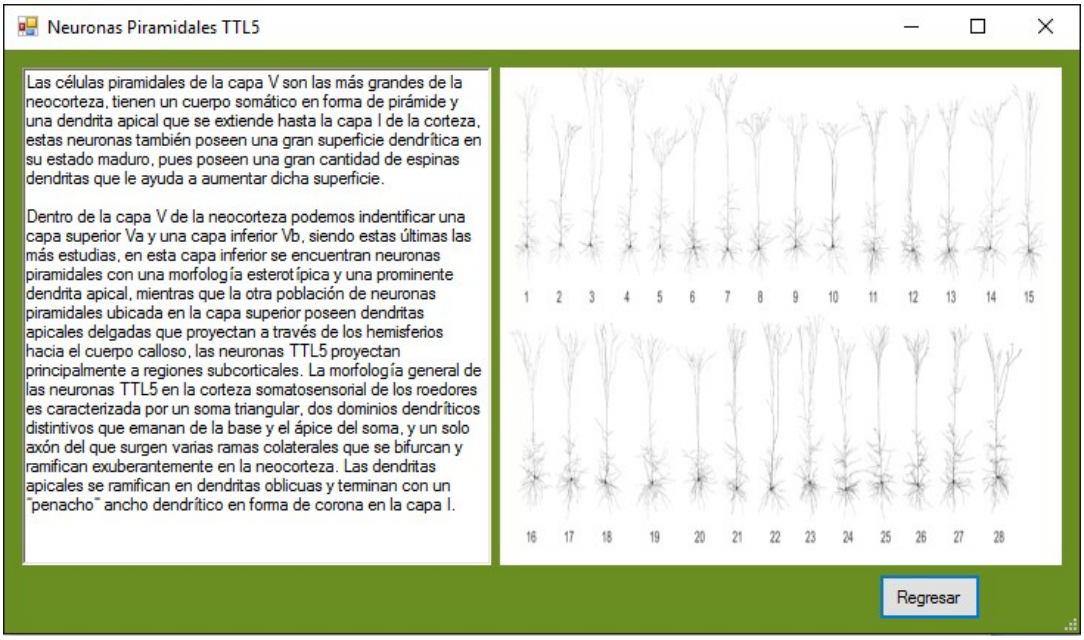


Fig. 28. Se pueden observar los morfotipos de neuronas piramidales TTL5 obtenidas por Hay et al, 2013. Así como una descripción general de este tipo de neuronas de penacho ancho.

Fig. 29. En esta ventana se muestra la morfometría de las tres neuronas reproducidas en 3D, donde se pueden observar los diez parámetros medidos.

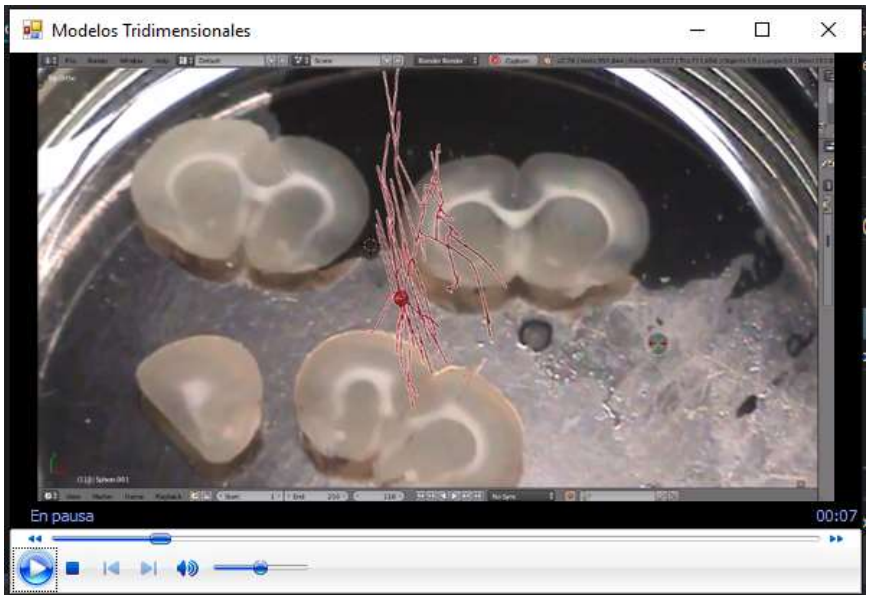


Fig. 30. Esta ventana reproduce de manera automática el video de realidad aumentada creado e insertado en el archivo multimedia, donde se ve la manipulación de las tres neuronas piramidales modelas en 3D.

6. DISCUSIÓN

En este estudio se toma a la Realidad Aumentada con un enfoque donde el profesor que se apoye de este material. Se puede sacar el mayor partido del mismo, cuando se consideran las necesidades individuales de los interesados, para que estos puedan explotar esta tecnología en los campos pertinentes de interés.

Por ejemplo, en el caso de neuronas, Padilla & Stibitz (1974), publican un artículo titulado “Three-dimensional reconstruction of the basket cell of the human motor Cortex”, donde explican la estructura tridimensional de las células en canasta de la corteza motora humana. En este estudio, los autores mencionan algunas de las dificultades que se pueden tener al no poder apreciar la estructura tridimensional de las células. Dependiendo del ángulo en que estas se vean, se pueden presentar diversas formas. Con las nuevas tecnologías, y el caso de la RA, se pueden observar las neuronas con respecto a su configuración espacio temporal, al poder sobreponer los modelos tridimensionales de estas a imágenes que sirvan como referencias para que el interesado logre asimilar esta información de manera más eficiente, al mismo tiempo que este puede interactuar con dicho material para lograr así, una mejor conceptualización de la estructura de las neuronas. Existe una herramienta poderosa como NEUROLUCIDA que reconstruye las estructuras tridimensionales de las neuronas, hasta el momento, estos modelos no son implementados en Realidad Aumentada como modelo de aprendizaje. Las neuronas desarrolladas en este trabajo permiten al usuario verlas desde diferentes ángulos.

Esta tecnología tiende a ser más persuasiva para sus usuarios, Dunleavy et al, en 2009, reportan un incremento en la motivación de los usuarios, incluso de aquellos que antes no se encontraban motivados para aprender.

7. CONCLUSIÓN

La realidad aumentada es una herramienta sumamente poderosa para la persona interesada en aprender. Esta herramienta también resulta ser versátil, pues al ser presentada como una herramienta ubicua, el interesado puede aprender según su interés aun siendo de manera informal. Se puede utilizar de manera formal en aulas, como material de apoyo a los profesores y mejorar el aprendizaje de los alumnos, principalmente en ciencia. Los diversos fenómenos teóricos o estructuras en la naturaleza con los cuales no podemos interactuar, como la estructura tridimensional de una neurona, de cualquier otro tipo de célula o fenómeno que no se pueden observar, las imágenes pueden ayudar a comprender mejor su estructura y función. A la vez que presenta ventajas sobre modelos físicos, puesto que estos pueden llegar a ser muy pesados o costosos para su representación, mientras que, con modelos tridimensionales aplicados en realidad aumentada, podemos reducir estos de manera considerada, puesto que solo sería necesario un dispositivo móvil y alguna aplicación que nos permita observarlos e interactuar con ellos.

No hay que dejar de lado algunos de los problemas que pueden presentar esta tecnología, como, por ejemplo, a pesar de los avances en tecnología móvil, debemos considerar que el uso constante de la cámara y la pantalla para la interacción con el modelo, consume de manera considerable la batería del dispositivo, por lo que su autonomía se ve reducida, lo que limita el tiempo de interacción. O el hecho de que en algunos casos las pantallas pueden ser de tamaño reducido, limita un poco el campo de interacción.

El desarrollo de materiales didácticos con esta herramienta con enfoques especializados a diversos campos, sería una gran fuente de recursos para ayudar a mejorar el aprendizaje de los interesados. Una herramienta que también podría ser socorrida con respecto a la realidad aumentada, serían los juegos basados en esta para hacer que el usuario se sienta más cómodo en cuanto a su aprendizaje y no lo vea de una forma intrusiva u obligada. Porque en este caso, uno de los objetivos de esta tecnología es que el usuario no vea el aprender como aprender,

y lo llegue a tomar de una forma natural. Con los modelos neuronales implementados en este trabajo el usuario puede interaccionar con ellos rotándolos en 360º y observar y comparar las diferencias estructurales en cada una de ellas.

8. BIBLIOGRAFÍA

Anadón A. R. (1995). “Estructura de las Neuronas Naturales”. *Computación neuronal.* Universidade de Compostela, (15-35).

Azuma R., Baillot Y., Behringer R., Feiner S. & MacInteyre B. (2001). “Recent Advances in Augmented Reality”. *Computers & Graphics.*

Azuma, R.T. (1997). “A survey of augmented reality”*. In presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(4): 355-385.*

Basogain X., Olabe M., Espinosa K., Rouèche C. & Olabe J.C. (2007). “Realidad Aumentada en la Educación: Una Tecnología Emergente”.

Benavides-Piccione R., Ballesteros-Yáñez I., De Felipe J. & Yuste R. (2002). “Cortical área and species differences in dendritic spine morphology”. Journal of Neurocytology. 31: 337-346.

Billinghurst M. (2002). “Augmented Reality in Education”. New Horizons for Learning.

Billinghurst, M., & Henrysson, A. (2009). “Mobile architectural augmented reality”. *Mixed Reality in Architecture, Design and Construction.* 3: 93-104.

Billinghurst M., Kato H. & Puopyrev I. (2001). “The MagicBook—Moving Seamlessly between Reality and Virtuality”. Projects in VR.

Carracedo J. de P. & Martínez M. C.L. (2012). “Realidad Aumentada: Una Alternativa Metodológica en la Educación Primaria Nicaragüense”. 7(2).

Carmigniani J., Furht B., Anisetti M., Ceravolo P., Damiani E. & Ivkovic M. (2011). “Augmented Reality Tecnologies, Systems and Applications”. Multimed Tools Appl 51:341-377.

Chagnac-Amitai Y., Luhmann H. J. & Prince A. D. (1990). “Burst Generating and Regular Spiking Layer 5 Pyramidal Neurons of Rat Neocortex have Different Morphological Features”. THE JOURNAL OF COMPARATIVE NEUROLOGY 296:598-613.

De Felipe J. (2005). “Cajal y sus dibujos: ciencia y arte”. ARTE Y NEUROLOGIA, CAPÍTULO 18, Editorial Saned, Madrid.

Dunleavy M., Dede C. & Mitchell R. (2009). “Affordances and limitations of Inmersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning”. *Journal of Science and Technology,* 18(1): 7-22.

De la Torre C. J., Martín-Dorta N., Pérez S. J. L., Carrera C. C. & Gonzáles M. C. (2012). “Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional”. RED. Revista de Educación a Distancia. Número 37.

Dubois E., Nigay L., Troccaz J., Chavanon O. & Carrat L. (1999). “Classification Space for Augmented Surgery, an Augmented Reality Case Study”. Proceedings of Interact’99, IOS Press, Edinburgh (UK), p. 353-359.

Edel R. N., & Guerra C.E.O. (2010). “Recursos didácticos para la educación a distancia: Hacia la contribución de la realidad aumentada”. Ide@s CONCYTEG 5(61).

Etay H., Felix S., Henry M., & Idan S. (2013). “Preserving axosomatic spiking features despite diverse dendritic morphology”. J Neurophysiol 109: 2972–2981.

Egger V., Nevian T. & Bruno R.M. (2007). “Subcolumnar Dendritic and Axonal Organization of Spiny Stellate and Star Pyramid Neurons within a Barrel in Rat Somatosensory Cortex”. Cerebral Cortex; 18:876-889.

Frotscher M. (1998). “Cajal-Retzius cells, Reelin, and the formation of layers”. Current Opinion in Neurobiology, 8:570-575.

Guy N. E. (2003). “Cortex, Cognition and the Cell: New Insights into the Pyramidal Neuron and Prefrontal Function”. Cerebral Cortex; 13:1124–1138.

Goh T. & Kinshuk (2006). “Getting Ready for Mobile Learning-Adaptation Perspective”. Jl. of Educational Multimedia and Hypermedia; 15(2): 175-198

Hattox AM, Nelson SB. (2007). “Layer v neurons in mouse cortex projecting to different targets have distinct physiological properties”. J Neurophysiol; 98:3330-3340.

Hill R.S. & Walsh C.A. (2005). “Molecular insights into human brain evolution”. Nature Vol 473.

Höllerer, T. H., & Feiner, S. K. (2004). “Mobile Augmented Reality”. *Telegeoinformatics: Location Based Computing and Services,* (pp. 392-421).

Kaneko T. (2013). “Local connections of excitatory neurons in motor-associated cortical areas of the rat”. Frontiers in Neural Circuits. 7(75).

Kaufmann, H. (2003). “Collaborative augmented reality in education”. *Proceedings of Imagina 2003 conference. 1-4.*

Kearney M., Burden L. & Rai T. (2014). “Investigating teachers’ adoption of signature mobile pedagogies”. Computers & Education. 48-57.

Kerawalla L., Luckin R., Seljefot S., & Woolard A. (2006). “Making it Real: Exploring the potential of Augmented Reality for teaching primary school science”.

Klopfer, E., & Squire, K. (2008). “Environmental detectives – The development of an augmented reality platform for environmental simulations”. Educational Technology Research and Development. Education Tech Research Dev. 56:203-228

Larkman A. & Mason A. (1990). “Correlations Between Morphology and Electrophysiology of Pyramidal Neurons in Slices of Rat Visual Cortex. I. Establishment of Cell Classes”. The Journal of Neurosciencie, 10(5): 1407-1414.

Le Bé J.-V., Silberberg G., Wang Y. & Markram H. (2006). “Morphological, Electrophysiological, and Synaptic Properties of Corticocallosal Pyramidal Cells in the Neonatal Rat Neocortex”. Cerebral Cortex; 17:2204-2213.

Ludwig, C., & Reimmann, C. (2005). “*Augmented reality: Information at focus”.* Cooperatibe Computing & Communication Laboratory; 4(1).

Marín-Padilla M. (2012). “The human brain intracerebral microvascular system: development and structure”. Frontiers in Neuroanatomy.

Marín-Padilla M. & Stibitz G.R. (1974). “Three-dimensional reconstruction of the basket cell of the human motor Cortex”. Brain Research, 70:511-514.

Marín-Padilla M., Cajal–Retzius (1998). “Cells and the development of the neocortex”. TINS 21(2).

Marín-Padilla M. (2014). “The mammalian neocortex new pyramidal neuron: a new conception”. Frontiers in Neuroanatomy, 7(51).

Marín-Padilla M. (2001). “Evolución de la estructura de la neocorteza del mamífero: Nueva teoría citoarquitectónica”. REV NEUROL; 33 (9): 843-853.

Markram H. y cols., 2015. “Reconstruction and simulation of neocortical microcircuitry”. Cell 163, 456–492.

Milgram, P. & Kishino, F. (1994). “A taxonomy of mixed reality visual displays”. *IEICE Transactions on Information Systems,* 77(12).

Marzocchi V., Vilchez A., D’Amato M., Marino L. & Vanzetti N. (2012). “Incorporación de TICs de modelado molecular en la enseñanza universitaria de la Química”. TE&ET N°8.

McConatha D., Praul M. & Lynch M.J. (2008). “Mobile Learning in Higher Education: An Empirical Assessment of a New Educational Tool”. The Turkish Online Journal of Educational Technology 7(3):2

Naismith L., Lonsdale P., Vavoula G., and Sharples M. (2005). “Literature Review in Mobile Technologies and Learning Literature Review in Mobile Technologies and Learning”. Futurelab,

Oberlaender M., de Kock C.P.J., Bruno R.M., Ramirez A., Meyer H.S., Dercksen V.J., Moritz H. & Sakmann B. (2011). “Cell Type-Specific Three-Dimensional Structure of Thalamocortical Circuits in a Column of Rat Vibrissal Cortex”. Cerebral Cortex; 22:2375-2391.

Pan Z., Cheok A.D., Yang H., Zhu J. & Shi J. (2006). “Virtual reality and mixed reality for virtual learning enviroments”. Computers & Graphics 30:20-28.

Parnavelas J. G. (2000). “The origin and migration of neurons: new vistas”. *Trends Neurosci.* 23:126-131.

Pimienta J. H. J. (2004). “La Corteza Cerebral más allá de la Corteza. Revista Colombiana de Psiquiatría”. Suplemento No. 1, Vol. XXXIII.

Pimienta J. H. J. & Arteaga D. G. (2004). “Sobre la organización columnar de la Corteza Cerebral. Revista Colombiana de Psiquiatría”. Suplemento No. 1, Vol. XXXIII.

Ramaswamy S., Hill S.L., King J.G., Schürmann F., Wang Y. & Markram H. (2012). “Intrinsic morphological diversity of thick-tufted layer 5 pyramidal neurons ensures robust and invariant properties of in silico synaptic connections”. J Physiol 590.4:737–752

Ramaswamy S. & Markram H. (2015). “Anatomy and physiology of the thick-tufted layer 5 pyramidal neuron”. Front. Cell. Neurosci. 9:233.

Romand S., Wan Y., Toledo-Rodriguez M. & Markram H. (2011). “Morphological development of thick-tufted layer V piramidal cells in the rat somatosensory cortex”. Frontiers in Neuroanatomy. 5(5).

Roschelle, J., & Pea, R. (2002). “A walk on the WILD side: How wireless handhelds may change CSCL”. International Journal of Cognition and Technology, 1(1):145-168.

Schnabel MA, Wang X, Seichter H, Kvan T, (2007). “From virtuality to reality and back”. Proceedings of the 12th International Association of Societies of Design Research (IASDR). Hong Kong, pp. 12–15.

Schnabel M. L., Wang X., Seichter H. & Kvan T. (2008). “Touching The Untouchables: Virtual-, Augmented- And Reality”.

Schönknecht S., Duch C., Obermayer K. & Sibila M. (2008). “3D Reconstruction of Neurons from Confocal Image Stacks and Visualization of Computational Modeling Experiments”.

Sharples M., Corlett D. & Westmancott O. (2002). “The Design and Implementation of a Mobile Learning Resource”. Personal and Ubiquitous Computing; 6:220–234.

Sharples M. (2002). “Disruptive devices: mobile Technology for conversational learning”. Int. J. Cont. Engineering Education and Lifelong Learning, 12, Nos. 5/6.

Schubert D., Kötter R., Luhmann & Staiger J.F. (2006). “Morphology, Electrophysiology and Functional Input Connectivity of Pyramidal Neurons Characterizes a Genuine Layer Va in the Primary Somatosensory Cortex”. Cerebral Cortex; 16:223—236.

Spruston N. (2008). “Pyramidal neurons: dendritic structure and synaptic integration”. Nature Revlews, Neuroscience, Volume 9.

Supèr H., Soriano E. & Uylings H.B.M. (1998). “The functions of the preplate in development and evolution of the neocortex and hippocampus”. Brain Research Reviews 27:40-64.

Tak-Wai Chan, Jeremy Roschelle, Sherry Hsi, Kinshuk Kinshuk, Mike Sharples, et al (2006). “One-to-one technology-enhanced learning: an opportunity for global research collaboration”. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, World Scientific Publishing, 1(1):3-29.

Ruiz T. D. (2011). “Realidad Aumentada, Educación y Museos”. REVISTA ICONO. 2:212-226.

Travis K., Ford K. & Jacobs B. (2004). “Regional Dendritic Variation in Neonatal Human Cortex: A Quantitative Golgi Study”. Dev Neurosci; 27:277-287.

Valverde F. (2002). “Estructura de la corteza cerebral. Organización intrínseca y análisis comparativo del neocortex”. REV NEUROL; 34(8): 758-780

Van Krevelen D.W.F. & Poelman R. (2010). “A survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations”. *The international Journal of Virtual Reality, 9(2):1-20.*

Wu H.-K., Silvia W.-Y., L., H.-Y. Chang & J.-C. Liang (2012). “Current status, opportunities and callenges of augmented reality in education”. Computers & Education 62:41–49.

Yuen, S.; Yaoyuneyong, G.; & Johnson, E. (2011). “*Augmented reality: An overview and five directions for AR in education”. Journal of Educational Technology Development and Exchange, 4(1):119-140*

Zhou, F., Duh, H.-L., & Billinghurst, M. (2008). “Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years in ISMAR”. *Mixed and Augmented Reality, ISMAR 7th IEE/ACM International Symposium pp. 193.-202.*

9. ANEXO

Manual básico sobre la utilización del programa Blender.

Para la ocupación de dicho programa se requiere una computadora con las características recomendadas, ya que a la hora de renderizar los modelos, estos pueden presentar rezagos en su vista o pueden resultar muy pesados. Para su uso se recomienda la utilización de un mouse (en el caso de tener una laptop con trackpad y no una computadora de escritorio) para que pueda facilitar la manipulación del objeto que se quiere modelar, así como la vista y manipulación de la cámara para poder manejarlo de una manera más eficiente. Una vez dicho esto, también es necesario familiarizarse con la interfaz de usuario del programa (Figura 30) así como con los atajos de teclados que posee el programa.

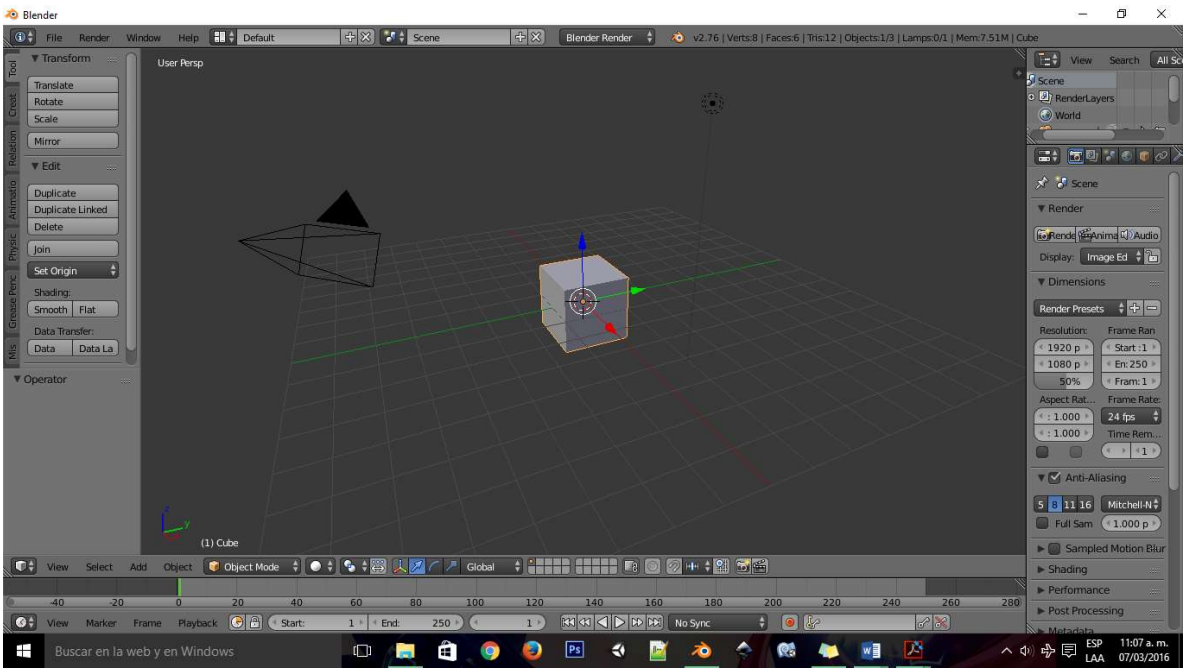


Fig. 31. Se muestra la interface inicial del software Blender, donde se pueden observar las herramientas que se pueden ocupar, en la aparte de abajo se pueden observar herramientas de selección, creación de modelos predeterminados, etc. En barra lateral izquierda se pueden encontrar herramientas para el modelado en 3D, mientras que en la barra derecha se encuentran herramientas para definir características del modelo.

Dentro de la interface de usuario podemos observar diversas regiones de edición que pueden ser cambiadas a gusto y preferencia dependiendo de cómo se esté

trabajando. Así, del lado izquierdo del programa podemos observar una barra de las herramientas más comunes que son utilizadas en el programa. Donde se pueden obtener acceso a herramientas de modelado, como a herramientas de edición, animación, etc. (Acceso rápido con tecla T).

En la parte derecha podemos observar una barra de configuraciones que aparece al presionar la tecla N, donde podremos configurar diversos aspectos pertinentes al modelo que estamos ocupando.

Más a la derecha podemos encontrar una ventana donde podemos ver la información de la escena, esto es, los objetos que tenemos en el momento, al momento de iniciar el programa, podemos observar que tenemos una cámara, un punto de luz, y un objeto (cubo), listos para comenzar a trabajar. Un poco más abajo encontramos la ventana de propiedades, donde podemos configurar diversas cosas, como ambiente, objetos individuales, colores, etc.

En la parte superior podemos observar la barra de información, donde están las funciones de Archivo, donde podemos encontrar opciones comunes como, guardar, abrir, salir, etc., después se encuentran las pestañas de Render, Window y Help. En esta misma barra podemos ver la información del modelo que se está creando, como sería número de vértices, caras, etc.

Abajo podemos observar la barra que funge como cabecera para las opciones en 3D, aquí podemos encontrar diversas opciones, desde añadir un nuevo objeto predeterminado como un circulo, un cubo, etc, hasta cambiar el modelo en el que nos encontramos trabajando, ya sea modelado o edición del objeto en 3D, así como la vista y el modo en que seleccionamos algo (Intersección, cara, o filo de un modelo). Hay que hacer notar, que dependiendo el modo en que se esté ocupando el modelo, la barra cambiará sus funciones respectivamente para el uso de dicho modo.

Finalmente, en la parte inferior se encuentra la línea de tiempo, que se ocupa en el caso de películas y animaciones.

Para poder manejar el programa, también es necesario comprender las funciones que tiene el uso del mouse dentro del programa, ya que esto nos permitirá movernos dentro de la interfaz del programa, así como poder manipular la cámara y el objeto que estás ocupando para el modelado en 3D. Para esto:

1) Click derecho: Permite el seleccionar un objeto. Puede ser la cámara, el foco de luz o el modelo que se ocupe.
2) Click izquierdo: Te permite mover el objeto seleccionado mediante el uso de los ejes.
3) Rueda del mouse: Al presionarlo te permite el movimiento del ángulo de vista (Rotación de la cámara), del modelo, al mover la rueda te permite acercar o alejar la cámara. Shift + Rueda (Presionado), te permite mover la cámara en ejes.

Dentro de la cámara existe la posibilidad de cambiar la perspectiva mediante el uso del teclado número, lo que facilita la visión en una perspectiva fija para el usuario:

1) Izquierda: Ctrl + numpad 3
2) Derecha: numpad 3
3) Atrás: Ctrl + numpad 1
4) Enfrente: numpad 1
5) Abajo: Ctrl + numpad 7
6) Arriba: numpad 7

A continuación, se enlistarán diversos atajos con sus características para su uso dentro del programa:

E: Presionando esta tecla podemos alargar a la parte que hemos seleccionado.

R: Si se presiona una vez sirve para poder rotar el objeto seleccionado en 360°, si se presiona dos veces, se puede mover el objeto seleccionado en cualquier dirección.

T: Sirve para ocultar o hacer que aparezca la barra de herramientas.

I: Sirve para introducir una nueva cara.

S: Sirve para hacer más grande o más pequeña una parte seleccionada.

G: Sirve para mover completamente un área seleccionada junto con sus partes continuas.

H: Oculta la selección.

K: Sirve para cortar y crear caras.

X: Abre las opciones de borrado.

C: Selecciona diversas caras.

N: Abre la barra de configuraciones.

Para el uso de este programa existen diversos tutoriales que pueden ser ocupados para su aprendizaje. La mejor forma de aprender a ocuparlo es familiarizándose con las características que tiene mediante el uso de las mismas al momento de crear un modelo, ya que así se comenzará a comprender mejor su función y se nos facilitará más el uso del mismo.

Dentro del modelado, hay que tomar en cuenta que se pueden seleccionar intersecciones, caras, y filos para modificar el modelo, siendo varias de las características anteriormente mencionadas, podidas ser aplicadas en estas selecciones, para poder refinar el modelo.

Para el modelado, podemos acceder al modo de esculpir, donde aparecerán más opciones donde podremos definir aún más nuestro modelo dándole texturas de superficie.