



FACULTAD DE INFORMÁTICA

TESINA DE LICENCIATURA

TÍTULO: Prototipo informático de simulación para la enseñanza de la Neuroanatomía Humana

AUTORES: Martínez, Pablo

DIRECTOR: Dra. Challiol, Cecilia

CODIRECTOR: Dra. Gordillo, Silvia

ASESOR PROFESIONAL: Dr. Orellana, Fernando Manuel

CARRERA: Licenciatura en Sistemas

Resumen

La principal motivación de esta tesina, es brindar un prototipo informático de simulación para la enseñanza de la neuroanatomía humana. Con este prototipo se busca poder brindar un material didáctico complementario para la enseñanza de esta temática. En particular, haciendo hincapié en que el mismo no requiera de conocimientos avanzados para así poder ser usado en los primeros años de las carreras de medicina (u otras disciplinas que también enseñarán esta temática). El prototipo combina tecnología Arduino y NeoPixel, y el software está desarrollado para una Tablet usando la plataforma Unity.

Palabras Clave

Modelo de Simulación, Arduino, NeoPixel, STM32, ESP8266, Unity, Neuroanatomía Humana, Sistema Humano Nervioso, Enseñanza.

Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo se destacaron los motivos por los cuales es importante el uso de los simuladores en el área de medicina. Asimismo, se presentó un prototipo para la enseñanza de la neuroanatomía humana, que resuelve muchas de las problemáticas en las que se ven envueltos los alumnos a la hora de estudiar el neuroeje humano con diversos métodos tradicionales.

El software del prototipo se desarrolló para la plataforma Unity, y este se combina con la tecnología Arduino y NeoPixel.

Trabajos Realizados

Se desarrolló un prototipo para la enseñanza del neuroeje humano, donde cada una de las neuronas que lo componen están representadas con leds NeoPixel. Cada uno de ellos es controlado por un microcontrolador STM32, que, en conjunto con el chip ESP8266 generan una red Wireless llamada Sinaptics, permitiendo que los dispositivos conectados a esta red puedan enviar los datos necesarios para controlar el encendido y apagado de los leds del prototipo. Asimismo, se desarrolló un software (en Unity) que permite realizar el envío de dichos datos, permitiendo el encendido de los leds en forma individual o el de animaciones precargadas.

Trabajos Futuros

Algunos trabajos futuros de esta tesina son:

- Adicionar otras vías al prototipo, que permitan representar las vías aferentes del Sistema Nervioso Humano
- Implementar un maniquí a escala 1:1 que permita el envío de estímulos y se relacione con lo realizado actualmente.
- Crear un prototipo en 3D a escala real del Polígono de Willis, que permita conectarse e intercambiar datos con el prototipo y software implementados.
- Diseñar un software 3D que permita navegar el cuerpo humano a través de cada una de las vías nerviosas que lo componen.

Contenido

1.	Introducción	3
1.1.	Motivación	3
1.2.	Objetivo	4
1.3.	Estructura de la tesina	4
2.	Background	5
2.1.	Algunos Modelos y Simuladores existentes en el área de la medicina	5
	<input type="checkbox"/> Somso [SOMSO]	6
	<input type="checkbox"/> 3B Scientific [3BScientific]	7
	<input type="checkbox"/> Sensus3D [SENSUS3D]	10
	<input type="checkbox"/> MIRAI 3D [MIRAI3D]	12
	<input type="checkbox"/> EDLUT [EDULT, SINC]	13
	<input type="checkbox"/> Comparación entre algunos los modelos/simuladores del sistema nervioso	15
2.2.	Tecnologías Usadas	15
	<input type="checkbox"/> Neopixel [Neopixel]	15
	<input type="checkbox"/> Microcontrolador STM32 [STM32]	17
	<input type="checkbox"/> ESP8266 [ESP8266]	18
	<input type="checkbox"/> Unity [Unity]	19
3.	Descripción de la problemática	21
	• Complejidad de las imágenes para comprender conceptos	21
	• Apreciar la irrigación a partir de imágenes	28
4.	Evolución del Modelo de Simulación usado de base	32
5.	Prototipo desarrollado	43
5.1.	Descripción del prototipo desarrollado	43
5.2.	Pantallas del prototipo desarrollado	50
	<input type="checkbox"/> <i>Sección de Animaciones</i>	50
	<input type="checkbox"/> <i>Sección de Niveles</i>	51
6.	Ejemplo de Uso del Prototipo	56
6.1.	Ejemplos de Animaciones precargadas	56
	<input type="checkbox"/> <i>Animación 1 - Vía Motora 1ª y 2ª neurona</i>	56
	<input type="checkbox"/> <i>Animación 2 - Vía Córtico Espinal y Córtico Nuclear</i>	58
	<input type="checkbox"/> <i>Animación 3 - Irrigación</i>	60
	<input type="checkbox"/> <i>Animación 4 - Patología: Cerebral Media</i>	63

□ Animación 5 - Patología: Cerebral Anterior	66
6.2. Ejemplo de uso de los niveles del prototipo	70
7. Conclusiones y Trabajos Futuros	76
Bibliografía	79
Anexo A: Entrevistas realizadas con el Dr. Orellana	83

1. Introducción

1.1. Motivación

Los métodos de enseñanza se vienen perfeccionando constantemente en distintas y variadas formas para abordar la labor didáctica desde múltiples ángulos. En [Salas and Ardanza, 1995] se plantea la simulación como método de aprendizaje, el cual permite el ingreso de ciertos parámetros, brindando la repetición de determinadas condiciones a la que un alumno puede enfrentarse en la vida real en un futuro.

En los últimos años, como se menciona en [Lion, 2005], se han utilizado las simulaciones como método de práctica y perfeccionamiento de las habilidades adquiridas. En particular, en la educación médica la simulación se ha extendido de forma progresiva en todo el mundo como una forma de mejorar la formación de los profesionales de la salud, tratando de prevenir errores médicos.

El primer simulador de la medicina moderna se introdujo en la década del '60 y se llamó "*Resuci Anne*" (en [Cooper and Taqueti, 2004] se brindan detalles del mismo). Este simulador es utilizado para enseñar la reanimación cardiopulmonar básica con ventilación boca-boca. Este es un simulador de bajo costo pero efectivo para desarrollar habilidades y destrezas psicomotoras [Dávila-Cervantes, 2014]. En la actualidad se sigue comercializado por [Laerdal], debido a su eficacia en la forma de enseñanza. Por la misma época, surge "*SimOne*" [SimOne], el cual se considera el primer simulador de anestesiología realista controlado por computadora, el cual fue desarrollado en la *Universidad de California* por *Abrahamson y Denson* (un ingeniero y un físico respectivamente). Este último nunca llegó a comercializarse por su alto costo. A finales de los '80, surge uno de los simuladores más famosos por aquellos años debido a que el mismo fue el primer recurso que se comercializó para la simulación anestesiológica, este simulador se denominó CASE (*Comprehensive Anaesthesia Simulation Environment*) [Gaba and DeAnda, 1988].

En los últimos 20 años, como se menciona en [Dávila-Cervantes, 2014], el número de recursos para la simulación en la formación de los profesionales sanitarios se ha incrementado de forma incesante, disponiendo en la actualidad de modelos cada vez más reales y fieles, con un amplio rango de niveles de complejidad y precios. Por ejemplo, *3B Scientific* [3BScientific] está especializado en la producción y la comercialización de material didáctico dirigido a la formación especializada en ciencias biológicas y medicina. Otro caso es el de la empresa *Miria3D* [Miria3D], la cual se centra en brindar simuladores para entrenamiento de cirugías mini invasivas y procedimientos endoscópicos.

En una entrevista inicial que se realizó con el Dr. Fernando Manuel Orellana (ver Anexo A), en pos de definir el objetivo de la presente tesina, el mismo mencionó que particularmente para el *Sistema Nervioso (Neuroanatomía Humana)* no existen simuladores que sirvan de complemento para la adquisición de conocimientos sobre éste, el cual que sea fácilmente manejable y simple de interpretar por un alumno, y a su vez que pueda ser utilizado con escasos conocimientos en el área médica. Además, Dr. Orellana comentó, a partir de su experiencia áulica, algunas dificultades de los alumnos de medicina (por ejemplo, en las cátedras de *Anatomía, Neurología, etc.*) así como también para los médicos graduados y los interesados de disciplinas afines como *Biología, Educación Física, Kinesiología, etc.* En particular, una de las dificultades es poder ubicar en el

espacio corporal, las estructuras de los diversos segmentos y centros del *Sistema Nervioso Humano* y sus funciones imprescindibles, por ejemplo, para poder hacer diagnósticos esta área.

Acorde a lo mencionado anteriormente, surge la principal motivación de esta tesina, brindar un prototipo informático de simulación para la enseñanza de la neuroanatomía humana. Con este prototipo se busca poder brindar un material didáctico complementario para la enseñanza de esta temática. En particular, haciendo hincapié en que el mismo no requiera de conocimientos avanzados para así poder ser usado en los primeros años de las carreras de medicina (u otras disciplinas que también enseñarán esta temática).

1.2. Objetivo

El objetivo de la tesina es desarrollar un prototipo informático de simulación para la enseñanza de la neuroanatomía humana, para lo cual primero se analizarán las características relacionadas con la enseñanza de la neuroanatomía humana y los desafíos que esta conlleva cuando se aborda desde sistemas tradicionales como, por ejemplo, un libro.

Para comprender los aspectos involucrados en la enseñanza de la neuroanatomía humana, se tendrán varias entrevistas con el asesor profesional de esta tesina el Dr. Fernando Manuel Orellana. A partir de las mismas se logrará identificar las necesidades que podrían ser cubiertas con el prototipo a desarrollar como parte de esta tesina.

Para poder llevar a cabo el prototipo se explorarán distintas tecnologías, en pos de brindar una solución a la caracterización realizada de la problemática. Por ejemplo, se explorará la tecnología *Arduino* [Arduino] y uso de *NeoPixel* [NeoPixel] (diodos LED con un microcontrolador integrado). Es de interés para esta tesina brindar una solución que combine sensores, pero también dispositivos móviles (por ejemplo, una Tablet) los cuales sirvan para el control o acción de los sensores. Para esto último se explorará el uso de *Unity* [Unity].

1.3. Estructura de la tesina

La estructura de la tesina se describe a continuación. En el Capítulo 2 se presenta el background en relación a la temática de la tesina, por un lado modelos y simuladores existentes en el área de la medicina; y además, un resumen de las características principales de las tecnologías usadas en el prototipo implementado en esta tesina.

En el Capítulo 3 se describe la problemática que se busca dar solución en la presente tesina. La cual se presenta acorde a las entrevistas realizadas con el Dr. Orellana.

La evolución del modelo de simulación usado de base se presenta en el Capítulo 4. Detallando cómo el mismo fue implementado con distintos prototipos que sentaron las bases para la presente tesina.

El prototipo desarrollado se presenta en el Capítulo 5, se describen las características principales del mismo como así también las pantallas que el mismo presenta.

En el Capítulo 6 se presentan diferentes ejemplos de uso del prototipo, algunos de estos muestran animaciones precargadas mientras otras se focalizan en los niveles del neuroeje.

Las conclusiones y los trabajos futuros son descriptos en el Capítulo 7.

2. Background

En este capítulo se presentará por un lado algunos modelos y simuladores existentes como así también la tecnología usada para esta tesina.

2.1. Algunos Modelos y Simuladores existentes en el área de la medicina

Primero es importante determinar que se entiende tanto por modelo como por simulador, dado que muchas veces en la bibliografía ambos conceptos se usan indistintamente. Para esta tesina se consideran las siguientes definiciones:

- Un modelo, según *Tarifa* [Tarifa, 2001], es una representación, que puede ser a escala o no, de un objeto, sistema, o idea, con la que podemos tener una interacción muy simple: tocarlo, desarmarlo, moverlo; y en consecuencia no genera ningún tipo de reacción a esta interacción. Usualmente, su propósito es ayudar, explicar, entender o mejorar un sistema. Asimismo, establece que los mismos son útiles, entre otras cosas, para predecir la conducta del sistema real. Por ejemplo, una representación de un esqueleto humano, de un cráneo o un hueso en particular.
- La simulación, según *Sánchez-Mendiola* [Sánchez-Mendiola et al, 2014], puede definirse como la propiedad de imitar el comportamiento de alguna situación o proceso por medio de un escenario, aparato o software analógicamente portable y de fácil reproducción con el propósito de realizar un estudio o entrenamiento personal para desarrollar habilidades específicas. De esta manera, la interacción con el mismo estará limitada al uso que éste permita, y a su vez, se puede determinar la reacción que se obtuvo de simular alguna de ellas.

Acorde a las definiciones brindadas anteriormente, tanto los modelos como los simuladores se pueden combinar de diferentes maneras, a continuación se listan algunos de estos tipos de combinaciones, destacando sus características específicas:

- *Modelos de simulación*: Son representaciones de un objeto, sin una escala definida, pero que permite imitar un comportamiento o proceso a través de un software desarrollado para este fin. Tiene una interacción más compleja que un simple modelo, ya que el software lo dota de determinadas características que le puede permitir extender su comportamiento, y por ende la reacción ante determinadas interacciones con el mismo.
- *Simulador humano*: Son maniqués que poseen similitudes anatómicas en relación al ser humano, con escala 1:1, y son los que mejor pueden representar las características humanas para entrenamiento médico. Por ejemplo, maniquí a escala del esqueleto humano.
- *Simuladores de habilidades específicas*: Facilitan el desarrollo de habilidades en un área específica de la anatomía, siendo compactos y de fácil traslado. Sin embargo, como desventaja, al estar enfocados en un área específica de la simulación sólo se centran en la habilidad específica que se desea poner en práctica, perdiendo noción del contexto general en relación al paciente. Por ejemplo, los simuladores de exploración de fondo de ojo o de oído.

- *Simuladores virtuales o de realidad virtual*: Permiten interactuar con ellos, por ejemplo, a través de una pantalla, el modo de interacción depende del hardware, su valor radica en el impulso e interés que pueden generar para el desarrollo de Nueva tecnología y métodos de aprendizaje. Sus ventajas es que son de fácil reproducción de material, difusión y portabilidad; sus limitantes son la incompatibilidad de los equipos de cómputo y los costos de ellos. Por ejemplo, simuladores dedicados a la aplicación de fármacos y su reacción en la célula, simuladores quirúrgicos.

De esta manera podemos apreciar como surgen distintos tipos de combinaciones entre modelos y simuladores. A continuación se presentan algunos modelos/simuladores existentes en el mercado.

□ Somso [SOMSO]

Una de las empresas más importantes a nivel mundial es *Somso* [SOMSO], es de Alemania y cuenta con más de 100 años creando *Modelos* y últimamente comenzó a fabricar *Simuladores Humanos* y *Simuladores de habilidades específicas* de gran calidad. Ofrece modelos que van desde botánica hasta la anatomía humana, siendo ejemplares de gran precisión, calidad de materiales y pintura. Esta empresa es famosa por la durabilidad de sus modelos y simplicidad de uso, pero sobre todo por la precisión con la que son realizados, pueden ser utilizados en muchos ámbitos académicos, desde nivel de pre-grado hasta grado.

En particular, *Somso* ofrece *Modelos* y *Simuladores Humanos* con los que se puede interactuar en forma mínima, estudiar su estructura y en algunos casos desarmar/armar sus partes componentes. Por ejemplo, en la Figura 2.1.1, se puede apreciar un modelo que cuenta con arterias, hoz del cerebro y campos de la corteza marcados en colores. Su tamaño es a escala 1-1, este modelo permite que sus 10 piezas (2 lóbulos frontales y parietales, 2 lóbulos temporales y occipitales, 2 troncos cerebrales, 2 cerebelos, la arteria basilar y el hoz del cerebro) se puedan desmontar. Se puede apreciar en la figura que este modelo reposa en su posición natural sobre un trípode metálico con peana verde.

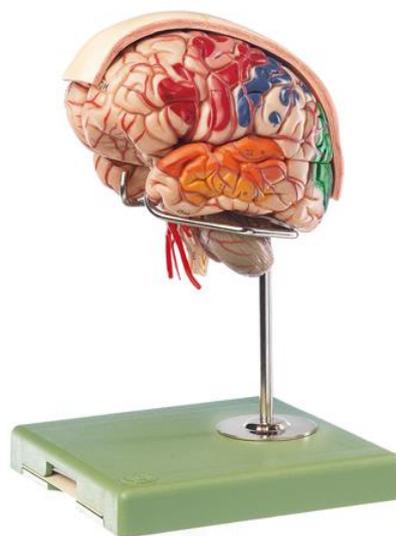


Figura 2.1.1 – Modelo del cerebro con sus campos marcados en colores [SOMSO]

Por otro lado, *Somso* también ofrece *Simuladores de habilidades específicas* cuya interacción depende del simulador que se esté utilizando, algunos permiten sólo realizar la simulación y otros, además, desarmar algunas estructuras para que el estudiante pueda visualizar que es lo que está sucediendo en el interior mientras la realiza.

Acorde al foco de esta tesina, es de interés el *Sistema Nervioso Humano* (en adelante SNH). En esta área *Somso* desarrolla modelos que no son desmontables, por lo que la única interacción que se puede tener con el mismo, es verlo y tocarlo. No ha creado ningún simulador que pueda llegar a responder frente a un estímulo externo en esta área. En particular, cuentan con tres modelos del sistema nervioso [SOMSO- SNH], siendo los mismos, la médula espinal (Figura 2.1.2.a), el sistema nervioso completo (Figura 2.1.2.b) y el sistema nervioso simpático y parasimpático (Figura 2.1.2.c).

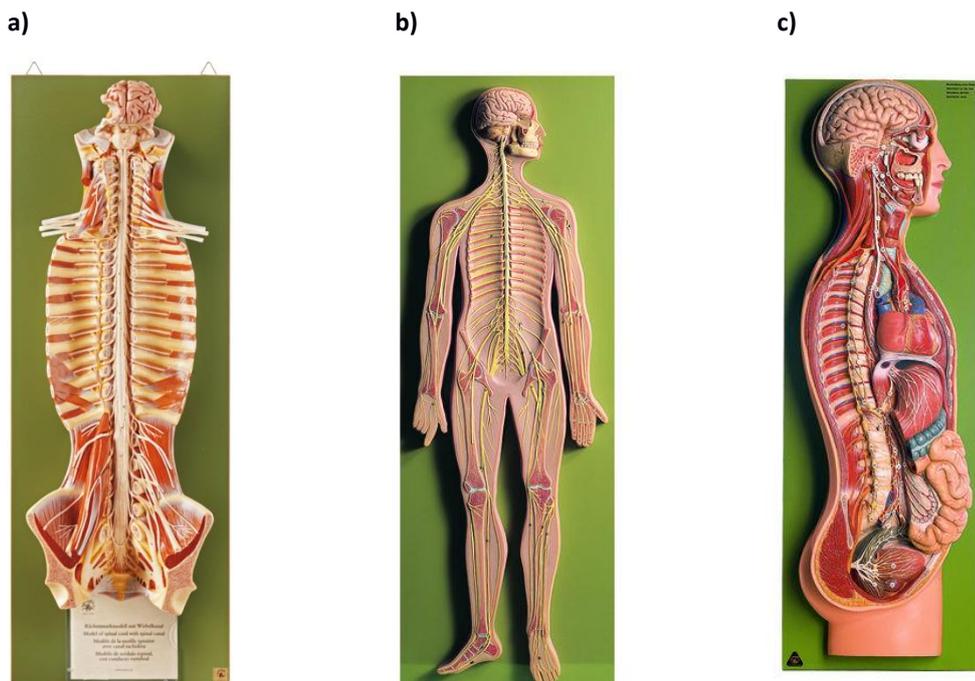


Figura 2.1.2 – Modelo del *Sistema Nervioso Humano* de la empresa Somso [SOMSO-SNH]

Cabe mencionar que los tres modelos presentados en la Figura 2.1.2 tienen una escala de 2/3 tamaño natural, es decir, no son a escala 1-1.

❑ 3B Scientific [3BScientific]

El grupo empresarial internacional *3B Scientific* [3BScientific] está especializado en la producción y la comercialización de material didáctico dirigido a la formación especializada en ciencias biológicas y medicina. Ofrece *Modelos* anatómicos de gran realismo como por ejemplo modelos del cerebro, así como también *Simuladores Humanos* como *Simuladores de habilidades específicas*. Pueden ser utilizados en muchos ámbitos académicos, desde nivel de pre-grado hasta grado o especializaciones, debido al gran realismo con el que son fabricados.

Los estudiantes interesados en la profesión médica, así como doctores, profesores y profesionales sanitarios se beneficiarán ampliamente del realismo de los modelos. Entre algunos de ellos se encuentran: modelos de músculos humanos, huesos y articulaciones

individuales, columnas, vértebras, cráneos, esqueletos a tamaño real, esqueletos en miniatura, etc.

Actualmente, posee decenas de simuladores que van desde la reanimación cardiopulmonar hasta una cirugía, los cuales se caracterizan por su alta calidad tanto en materiales como en realismo. Por ejemplo, en la Figura 2.1.3, podemos ver un simulador obstétrico, caracterizado por ser extremadamente realista para extracciones fetales en partos por cesárea, permitiendo la formación en técnicas y habilidades obstétricas.

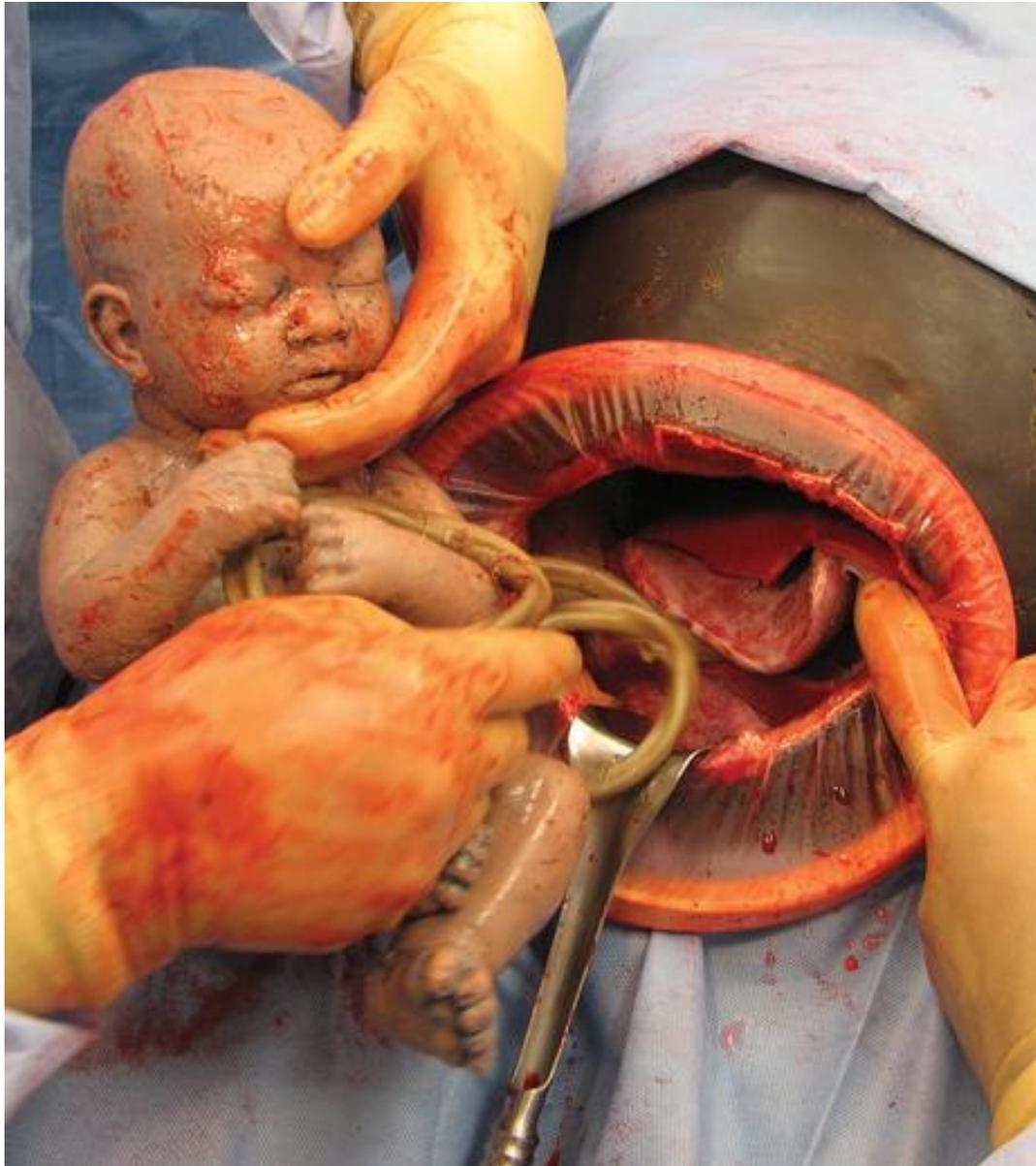


Figura 2.1.3 - Simulador de Obstetricia [3BScientific]

Cabe mencionar que los productos de *3B Scientific* se fabrican exclusivamente en Alemania, esto hace que tengan un elevado estándar de calidad, garantizado controles de calidad permanentes y comprometidos. Desde el año 2000, *3B Scientific* posee el certificado de DIN EN ISO 9001 y desde el 2004 es miembro del *Worlddidac Quality Charter*.

Acorde al foco de esta tesina, para el *Sistema Nervioso Humano* cuentan, por ejemplo, con un modelo en relieve como se muestra en la Figura 2.1.4, el cual muestra una representación esquemática del sistema nervioso central y periférico.



Figura 2.1.4 – Modelo en relieve del *Sistema Nervioso central y periférico* [3BScientific -SN]

3B Scientific cuenta además, por ejemplo, con un modelo que muestra la estructura de la médula espinal ampliada cinco veces de tamaño, el cual se puede apreciar en la Figura 2.1.5. Se puede observar en esta figura que en la base, se representan gráficamente, en relación con las sustancias gris y blanca, los distintos cortes transversales del cuello, el pecho, la región lumbar y la médula sacra.

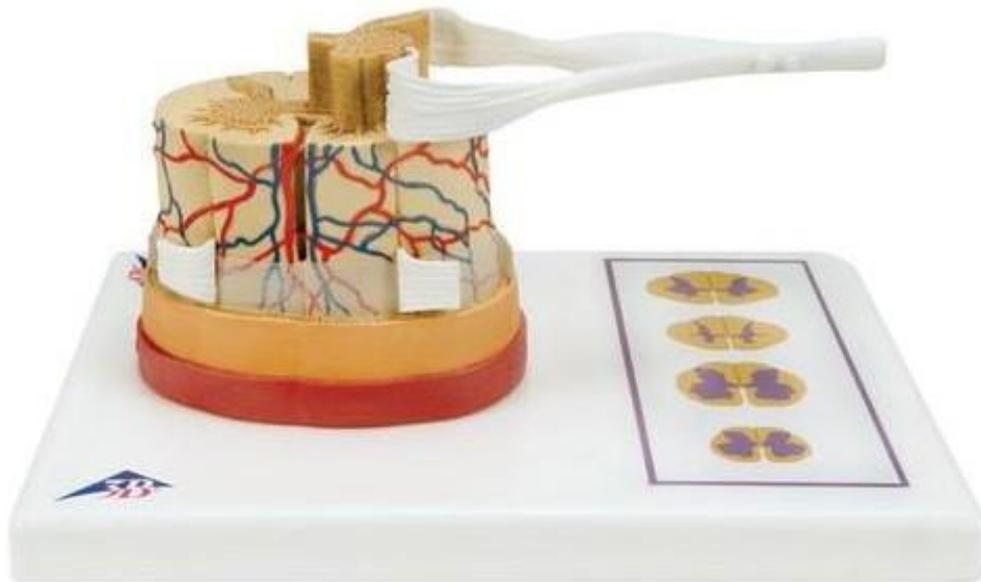


Figura 2.1.5 – Modelo que muestra la estructura de la médula espinal [3BScientific-ME]

Se puede apreciar de los ejemplos mostrados en las Figuras 2.1.4 y 2.1.5 que la interacción con estos modelos es mínima, es decir, para el sistema nervioso *3B Scientific* no cuenta con ningún simulador que permita interacciones más complejas que mirar y tocar.

❑ **Sensus3D [SENSUS3D]**

La empresa argentina *Sensus3D* [Sensus3D], ofrece simuladores que constan de dos partes, una de realidad virtual realizada en la plataforma *Unity*, y otra por un hardware diseñado por ellos, el cual complementa al software virtual. Gracias a este hardware implementado, *Sensus3D* implementa varios simuladores, solo cambia el software de realidad virtual, permitiendo ahorrar mucho dinero y espacio. Entre algunos simuladores virtuales que proponen, se encuentran: *Punción Lumbar*, *Ecocardiograma* y *Endoscopia Digestiva*.

El hardware con el que cuenta *Sensus3D*, está basado en el llamado *Sistema quirúrgico robótico de ZEUS* [ZEUS] (*ZRSS -Zeus Robotic Surgery System-* por sus siglas en inglés), utilizado para realizar intervenciones quirúrgicas a distancia y creado en el año 1995.

Como se muestra en la Figura 2.1.6., el simulador *SENSUS I* cuenta con dos brazos robóticos que son controlados por el usuario a través de dos controles, mientras visualiza el procedimiento a través de lentes de realidad virtual. Las imágenes proyectadas en estos lentes son tomografías de pacientes reales, por lo que los cirujanos pueden practicar en las intervenciones complejas que deberán enfrentar. En la Figura 2.1.7 se puede apreciar una imagen proyectada en los lentes al realizar una *Punción Lumbar*.

Cabe mencionar que trabajar con simuladores como el mostrado en la Figura 2.1.6, permite no sólo entrenar en un procedimiento conceptual sino también en la práctica de la habilidad motriz y en experimentar en las manos las sensaciones propias de lo que se ejecuta, por ejemplo, una punción lumbar (Figura 2.1.7).



Figura 2.1.6. - Simulador SENSUS I [Sensus3D]



Figura 2.1.7. – Realidad Virtual de la Punción Lumbar[Sensus3D]

Según explica *Rodolfo Giro*, uno de los inventores del simulador *SENSUS*, en una entrevista con *ecocuyo.com* [*ecocuyo*]: “*La aplicación será para entrenar en los alumnos de grado y posgrado de medicina, pero también tenemos pedidos de clínicas y hospitales que los utilizarán para actualizar y certificar también a su personal de planta*”.

Actualmente, *Sensus3D* no cuentan ninguno simulador destinado al sistema nervioso en sí.

❑ MIRAI 3D [MIRAI3D]

Otra empresa, también Argentina, es *MIRAI 3D* [MIRAI3D], la misma se centra en brindar *Simuladores de habilidades específicas* para entrenamiento de cirugías mini invasivas y procedimientos endoscópicos. Combinan objetos impresos en 3D con materiales que emulan el tejido humano, pudiendo realizar simulaciones de punciones, cortes, suturas y ecografías. De esta manera se puede replicar casos patológicos, simulando la misma sensación que la realidad, ya que replica los tejidos humanos con materiales con similares características, siendo éstos reutilizables y de bajo costo.

MIRAI 3D ofrece los siguientes *Simuladores de habilidades específicas*:

- Cirugía de cabeza y cuello
- Punción pleural
- Punción pericárdica
- Inyección intramuscular
- Inyección intradérmica
- Colecistectomía

En la Figura 2.1.8. se puede observar a profesional que guía en la forma de realizar un procedimiento de sutura, mientras que, en contraparte, el estudiante lleva a cabo el procedimiento en el simulador si ningún riesgo a equivocarse en situaciones reales.



Figura 2.1.8 – Simulador de Sutura [MIRAI3D]

Cabe mencionar que por ahora *MIRAI3D* no cuenta con simuladores destinados al sistema nervioso.

Actualmente, *MIRAI 3D* comenzó a desarrollar los llamados *biomodelos*, réplicas exactas de cada paciente y que los cirujanos las usan para planificar la cirugía, previo al quirófano. De esta manera, el especialista conoce con mayor exactitud las situaciones con las cuales se deberá enfrentar.

Según la entrevista realizada por *Amexcorporate* [Amexcorporate] a la empresa *MIRAI 3D*, cuentan que su metodología de trabajo es la siguiente: “se envían las imágenes médicas, sean de una resonancia o una tomografía del paciente a realizarse la cirugía, y de esta manera con un software se toman esas imágenes y se realiza un modelo 3D, que es una réplica exacta de la anatomía del paciente. Finalmente, se imprime esa anatomía y se la entrega al médico para que programe la cirugía”. En la Figura 2.1.9 se puede apreciar un ejemplo de lo antes mencionado, se puede apreciar una imagen 3D de una tomografía de cadera (visualizada en una notebook desde el software utilizado) junto al modelo 3D realizado a partir de dicha imagen.



Figura 2.1.9. - Impresión 3D de una imagen tomográfica de cadera [MIRAI3D]

Si bien se podrían crear *biomodelos* relacionados al sistema nervioso estos estarían más orientados a pacientes específicos y no generados como algo general de aprendizaje, ya que los mismos están pensados para contar con mayor información antes de entrar al quirófano.

□ EDLUT [EDULT, SINC]

Investigadores de la *Universidad de Granada* han desarrollado un simulador puramente virtual, denominado *EDLUT* (“*Event driven look up table based simulator*”) [Edlut], que permite reproducir el funcionamiento de cualquier parte del sistema nervioso del cuerpo humano, como la retina, el cerebelo, los centros auditivos o los centros nerviosos. Este avance científico permitirá analizar y comprender mejor las funciones de los centros nerviosos, investigar nuevas patologías y enfermedades o ensayar nuevos fármacos, y además servirá

para perfeccionar los robots y máquinas inspirados en el cuerpo humano y el sistema nervioso.

A diferencia de otros simuladores parecidos que ya existían anteriormente, EDLUT permite simular varios cientos de miles de neuronas a la vez, en lugar de varias decenas. Esto es posible gracias a que el simulador “*compila*” el comportamiento de una neurona o varios tipos de neurona en una primera fase y luego simula sistemas neuronales de media y gran escala basándose en modelos pre-compilados. Es importante destacar, que es un simulador para realizar estudios e investigaciones científicas que requiere gran cantidad de cálculos, no está diseñado para la enseñanza o práctica de habilidades específicas.

En la Figura 2.1.10. se puede apreciar que la configuración del simulador es compleja, requiere mucha información de entrada para llevar a cabo la simulación. Sin embargo, al estar dirigido por eventos y tablas de búsqueda (*lookup tables*) para acelerar los cálculos y simular eficientemente grandes redes neuronales, permite simular modelos neuronales detallados y controlar plataformas externas (tales como brazos robóticos).

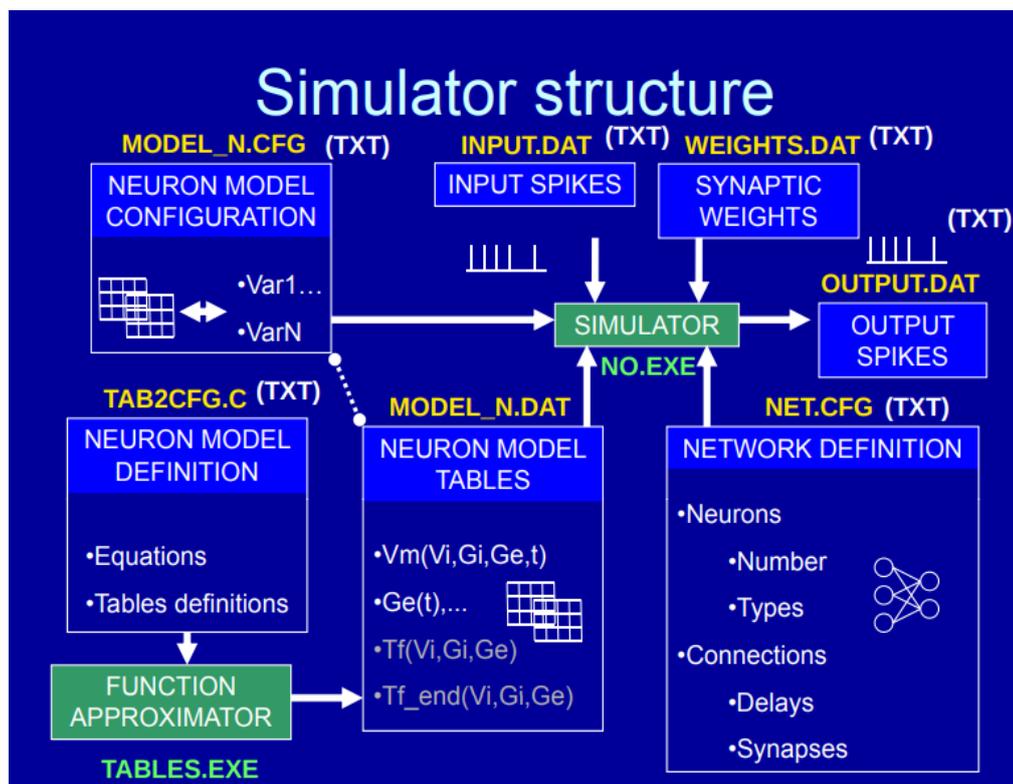


Figura 2.1.10. - Estructura del simulador EDLUT [Edlut-Presentación]

Como se puede observar en la Figura 2.1.10, a partir de los datos, la configuración del modelo neuronal la definición de la red, etc; se obtiene una salida, la cual, acorde a lo mostrado en dicha figura respeta la misma estructura que los datos ingresados.

Acorde a los datos disponibles sobre EDLUT es un software de caja negra, siendo imposible conocer que es lo que sucede entre la incorporación de todas las estructuras de ingreso de información hasta la obtención de resultados. Es decir, no hay ningún tipo de interacción real, más que el ingreso de datos, ya que es una solución puramente virtual.

❑ Comparación entre algunos los modelos/simuladores del sistema nervioso

Acorde a los modelos y simuladores presentados anteriormente, se pudo apreciar que algunas empresas presentan algunas soluciones destinadas al sistema nervioso, sin embargo, otras se focalizan en otras áreas. Considerando el foco de esta tesina, se analizarán aquellos modelos y simuladores relacionados con la temática del sistema nervioso, estos se pueden apreciar en la Tabla 2.1.1

Tabla 2.1.1: Comparación entre los modelos/simuladores destinados del sistema nervioso.

Modelo / Simulador	Área de destino	Uso	Nivel de Interacción	Reacciona a estímulos	Muestra flujo / funcionamiento
Somso (Figura 2.1.2)	Varias Ciencias	Pre-Grado / Grado	Mirar/Tocar	No	No
3B Scientific (Figuras 2.1.4 y 2.1.5)	Medicina en General	Pre-Grado / Grado / Especializaciones	Mirar/Tocar	No	No
EDLUT (Figura 2.1.10)	Sistema Nervioso	Especializaciones / Investigación	Nula	No	No

Se puede apreciar en la Tabla 2.1.1 que ninguno de los modelos/simuladores analizados permiten reaccionar a estímulos o ver el flujo del funcionamiento del sistema nervioso. Esto se abordará con la solución propuesta en la tesina, donde se busca poder simular estímulos y poder apreciar el funcionamiento desencadenante a partir del mismo.

2.2. Tecnologías Usadas

En esta sección se detallan las tecnologías exploradas y que fueron utilizadas para el planteo de la solución de esta tesina.

❑ Neopixel [Neopixel]

Los *NeoPixel* [Neopixel] fueron popularizados por la empresa *Adafruit*, son diodos LED con un microcontrolador integrado basados en la norma WS2812. Como se puede observar en la Figura 2.2.1., permiten conectarse en cascada, utilizando un protocolo de tipo “one wire”¹, y ser fácilmente comandados por un microcontrolador como ser *Arduino* [Arduino]. De esta manera, y al estar conectados uno consiguientemente del otro, cada uno de ellos tendrá un número de orden, correspondiente a su ubicación dentro de la cadena. En la Figura 2.2.2 se puede observar el flujo de datos del protocolo “one wire”.

¹ El protocolo “one wire” es una forma de comunicación serial asíncrona desarrollada por *Dallas Semiconductor*, requiere sólo un pin de E/S que puede ser compartido entre múltiples dispositivos “one wire”.

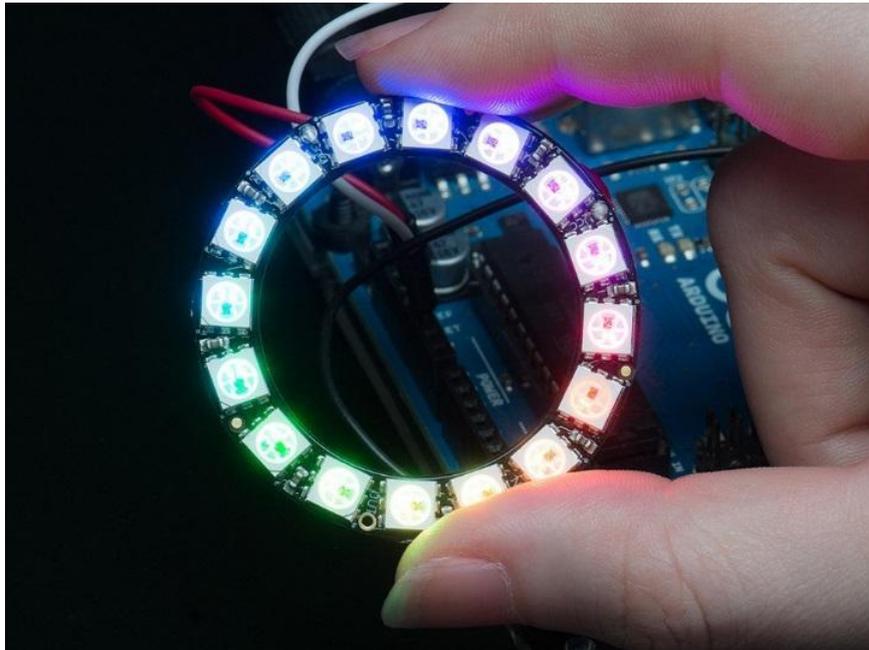


Figura 2.2.1 – Los leds Neopixel, última tecnología en led [Neopixel]

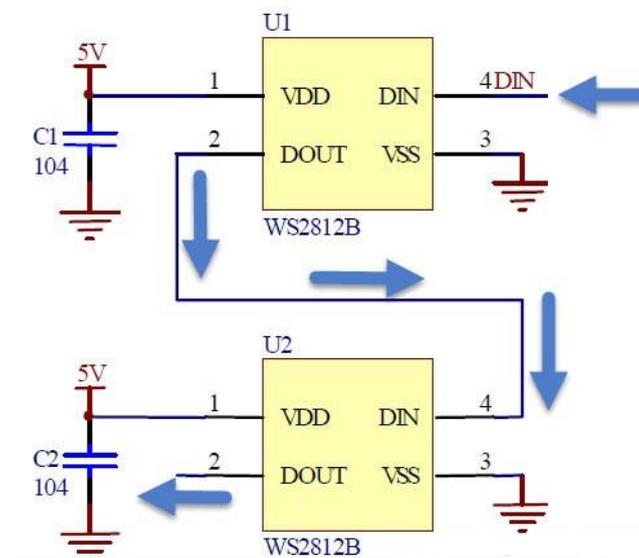


Figura 2.2.2 - Flujo de datos en el protocolo "one wire" [One-Wire]

Los *leds Neopixel* tiene muchas ventajas en comparación a los leds tradicionales. Por una parte, permite al microcontrolador, comandar a toda la cadena de leds utilizando un solo cable de datos, lo cual, sumando a los dos de alimentación, hace un total de 3 cables para comandar una cantidad de leds virtualmente ilimitada, restringida únicamente por la fuente de alimentación. Adicionalmente, el hecho de que cada led tenga un chip controlador incluido permite que la información de estado enviada por el microcontrolador (color e intensidad) se mantenga hasta que arribe una nueva orden al led en cuestión. Esto trae aparejado el beneficio de disminuir la cantidad de procesamiento realizado por el procesador, ya que con las viejas tecnologías éste debía estar actualizando constantemente el estado e intensidad de cada uno de los leds.

Para poder controlar estos leds desde *Arduino*, pueden utilizarse dos librerías: *Adafruit Neopixel* [Adafruit-Neopixel-Library] o *FastLed* [Fastled-Library]. Si bien, con ambas se pueden realizar las mismas tareas, como ser, prender un led en particular, de un determinado color y con una intensidad en especial; cada una lo implementa de forma totalmente diferente. Como se puede encontrar en infinidad de blogs dedicados a estudiar y solventar dudas sobre estos tipos de leds, como por ejemplo el blog de *Dave (Parts Not Included)* en su post “*FastLED vs. Adafruit_NeoPixel*” [Fastled-vs-Adafruit-Neopixel] menciona las diferencias entre ambos, caracterizando al *FastLed* como mejor implementación que su contraparte.

Asimismo, *Mark Kriegsman* [MarkKriegsmanProfile] en su perfil de Google+ demuestra cómo realizar la misma animación con cada una de las librerías, dejando en claro, que la *FastLed* es ampliamente superior no sólo en cuanto a sencillez de codificación sino también a la cantidad de información que debe enviar cada una para llevar a cabo dicha animación.

Microcontrolador STM32 [STM32]

Para el control de los mencionados *NeoPixel*, se puede utilizar el microcontrolador *STM32F103C8* [STM32] de la empresa *ST Microelectronics*. Es una placa de desarrollo, similar a *Arduino*, lo cual permite programarlo con la misma interface de desarrollo. Sin embargo, mientras la mayoría de *Arduinos* montan un procesador AVR, el *STM32* cuenta con un procesador ARM, lo que se traduce en unas especificaciones ampliamente superiores. Este procesador, es un ARM Cortex M3 32-bit de 72 MHz con 64 KB y 20 KB de memoria Flash y SRAM respectivamente. Como se muestra en la Figura 2.2.3 cuenta con 26 entradas y salidas digitales, lo cual permite conectar gran variedad de dispositivos. Adicionalmente, es de más bajo costo que un *Arduino Mega* (aproximadamente un 50% más barato).

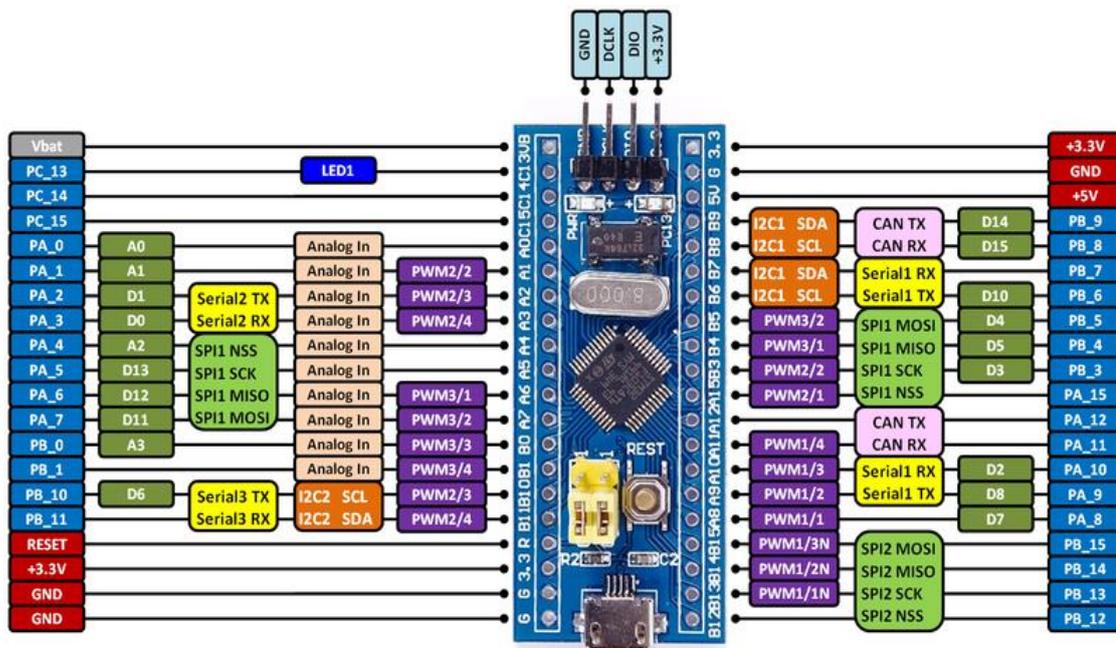


Figura 2.2.3 – Especificación del microcontrolador STM32 [STM32]

STM32F103C8 es un dispositivo de gran potencia, no solo porque sea rápido sino porque está diseñado pensando en que sea un microcontrolador para *Internet of Thing* (IoT), pudiendo ser utilizado con el sistema operativo RIoT [Riot].

Como se mencionó anteriormente, STM32 permite ser programado a través del mismo entorno de desarrollo que *Arduino*, comúnmente es *Arduino IDE* [Arduino-IDE]. Sin embargo, puede utilizarse diversos entornos de desarrollo de aplicaciones para estos microcontroladores, como ser *Eclipse* [Eclipse-For-Arduino], *Visual Studio Code* [Visual-Studio-Code-For-Arduino], etc. Más información sobre éstos y otros entornos pueden ser consultados en el *foro de STM32* [STM32-IDE-Forum].

Arduino IDE facilita el desarrollo y programación de diversos microcontroladores. El mismo, según el sitio de internet de Chile dedicado exclusivamente a *Arduino* [Arduino.CL], está basado en entorno de desarrollo *Processing*, una IDE basada en Java, de código abierto y bajo una licencia GNU GPL. *Arduino IDE* permite elegir para qué procesador se desea compilar el proyecto, siendo realmente práctico y rápido realizar dicho cambio. Asimismo, cuenta con un sistema centralizado de librerías llamado *Gestor de Librerías* [Arduino-Libraries], en el cual pueden instalarse y actualizarse las que sean necesarias para cada proyecto. Si bien se pueden instalar librerías de desarrollo propias, sin embargo, esto debe hacerse de forma manual.

El lenguaje de desarrollo, *Arduino Programming Language* o *Arduino Coding Language*, según el *FAQ de Arduino* [Arduino-FAQ], es una versión acotada de C/C++, específicamente un conjunto de funciones. Es por ello, que al desarrollar en este entorno se debe tener en cuenta el conjunto de instrucciones con las que se pueden trabajar. De la misma forma, al crear o importar librerías, se debe tener en cuenta esta restricción, de otra manera, el compilador de *Arduino* no permitirá continuar con la programación del microcontrolador.

❑ ESP8266 [ESP8266]

El chip llamado *ESP8266* [ESP8266], es un dispositivo de bajo costo, con una pila TCP/IP completa y un microcontrolador, fabricado por *Espressif* [Espressif], una empresa con sede en Shanghai, China. Como se observa en la Figura 2.2.4, es compatible con la norma IEEE 802.11 b/g/n, cuyos estándares son comparados por *Khanduri y Rattan* [Khanduri and Rattan, 2013]; tiene integrados: *TR switch* [TR-Switch], *balun* (transformador de líneas no balanceadas a balanceadas) [Balun], *LNA* (amplificador de señales bajas) [LNA], amplificador de potencia de RF y una red de adaptación de impedancias, a la vez que provee soporte de autenticación WEP y WPA/WPA2.



Figura 2.2.4 – El módulo Wifi ESP8266 [ESP8266]

Adicionalmente, a las características mencionadas el *ESP8266* tiene la capacidad de ser establecido en modo de *Access Point* o *Router*, para esto es necesario realizarle envío de instrucciones *AT* [ESP8266-at-commands], a través de su puerto serial de entrada. De esta

forma y a través del STM32, puede realizarse el envío de los comandos necesarios para configurar el ESP8266 para que otros dispositivos puedan conectarse al chip. Además, con el envío de estos comandos, puede ser configurado con un modo de seguridad WPA2 [Lehembre, 2006] con una clave alfanumérica, de modo que la conexión al dispositivo sea lo más segura posible.

Unity [Unity]

La plataforma de desarrollo de videojuegos denominada *Unity* [Unity], permite desarrollar sistemas de gran calidad visual con un bajo costo de tiempo. Los resultados que se pueden obtener gracias a esta plataforma son de gran calidad, teniendo la posibilidad de poder compilar en la actualidad (según el sitio web de *Unity* en donde trata sobre las características *multiplataforma* [Unity-Multiplataforma]) en 27 plataformas, las cuales son detalladas en la Figura 2.2.5.



Figura 2.2.5 – Plataformas a las cuales puede compilarse un proyecto *Unity* [Unity]

Las plataformas mostradas en la Figura 2.2.4 pueden separarse de la siguiente manera:

- *4 plataformas móviles:*
 - *iOS, Universal Windows Platform, Android y Fire OS;*
- *9 plataformas VR y AR:*
 - *Oculus Rift, Google Cardboard en Android e iOS, Steam VR para PC y Mac, PlayStation VR, Gear VR, Windows Mixed Reality, Daydream, Apple ARKit y Google ARCore;*
- *5 plataformas de escritorio:*
 - *Windows, Universal Windows Platform, Mac, SO Linux/Steam y Facebook Gameroom;*
- *5 plataformas de consola:*
 - *PlayStation 4, PlayStation Vita, Xbox One, Nintendo Switch y Nintendo 3DS;*
- *3 plataformas TV:*
 - *Android TV, Samsung SMART TV y tvOS;*
- *1 plataforma web:*
 - *WebGL*

Por otro lado, la codificación se realiza a través del entorno *MonoDevelop* [MonoDevelop], la implementación de código abierto de *.NET Framework*. Según se puede apreciar en la documentación de *Unity*, se pueden utilizar dos lenguajes de programación para codificar:

UnityScript [Unity-Script] (un lenguaje diseñado específicamente para uso con *Unity*) y *C#* (un lenguaje estándar de la industria similar a Java o C++). Adicionalmente, puede utilizarse otros lenguajes .NET si se compila con una DLL compatible.

3. Descripción de la problemática

En este capítulo se describirá la problemática que motiva la presente tesina utilizando un lenguaje simple, tratando ser lo más explícito posible en cuanto al dialecto médico.

La problemática de la presente tesina se describe acorde al relevamiento obtenido en base a las entrevistas realizadas con el Dr. Fernando Manuel Orellana (la cual se detalla en el ANEXO A). En las mismas, Orellana comenta, que, a partir de su experiencia áulica, pudo observar algunas dificultades por parte de los alumnos a la hora de estudiar los conceptos relacionados con el *Sistema Nervioso Humano* (en adelante S.N.H.).

Tomando como referencia la carrera de Medicina de la *Universidad Nacional de La Plata* [UNLP], los alumnos a lo largo de la misma van adquiriendo información de distintos aspectos del S.N.H. En un principio, incorporan información acerca del aspecto macroscópico del sistema (anatomía). Posteriormente, se profundiza en las estructuras microscópicas del mismo (histología y embriología). Al año siguiente, se suma la descripción de la función de las distintas partes (fisiología). Finalmente, en años más avanzados, en materias como semiología, clínica y neurología, se toma información del funcionamiento, diagnóstico y tratamiento del S.N.H. Según comenta Orellana, a pesar de que los alumnos van adquiriendo toda esta información a lo largo de la carrera, ésta sólo se convierte en un conocimiento comprensivo y práctico del funcionamiento del S.N.H. como un todo, al poder integrar toda la información adquirida en las últimas asignaturas de la carrera. Es por esto, que es de suma importancia comprender los conceptos básicos desde las primeras materias, ya que un conocimiento mal aprendido será propagado a través de las materias subsiguientes.

Particularmente considerando la cursada de la materia de *Anatomía*, la neuroanatomía se dicta durante los últimos meses del primer año de la cursada. Considerando que este tema es demasiado extenso y los alumnos se encuentran fatigados por la acumulada exigencia a lo largo del año, según destaca Orellana en las entrevistas (ver Anexo A), no se alcanza a dictar la totalidad de los temas con el tiempo suficiente que la complejidad de la temática amerita. Como consecuencia de esto, los alumnos no logran afianzar los conocimientos básicos que le permitirán dar sustento a los subsiguientes conocimientos citados.

Paralelamente, Orellana entiende que, la mecánica del proceso de transmisión de conocimiento por los métodos tradicionales, particularmente focalizando en los libros, no son del todo eficiente, y podría llevar a errores de interpretación que posteriormente se traducen en un conjunto de conceptos erróneos que podría impedir en un futuro la integración del sistema en su totalidad.

Para esta tesina se hará foco en la temática del *neuroeje* humano (el cual está compuesto por el encéfalo y la médula espinal acorde a lo descrito en [Diccionario-Médico]). Acorde a esto, a continuación, se presentan distintas problemáticas que son de interés para esta tesina acorde a las entrevistas realizadas con Orellana (ver ANEXO A).

- **Complejidad de las imágenes para comprender conceptos**

Para la mayoría de los estudiantes de medicina, es complejo interpretar una figura en donde se involucran varios niveles del *neuroeje*; acorde a la información relevada de las entrevistas (ver Anexo A). Éstos niveles son explicados y mostrados en la bibliografía, entre ellos, el libro de *Crossman* [Crossman & Neary, 2007] mediante diferentes imágenes.

A continuación, se presentan distintas imágenes tomadas del libro de *Crossman* [Crossman & Neary, 2007] en relación a los niveles del *neuroeje*. Esto permite ejemplificar las problemáticas con las que se pueden encontrar los alumnos a la hora de estudiar estos conceptos.

En la Figura 3.1. se pueden observar dos neuronas en la corteza cerebral, representadas con un punto rojo cada una². De cada una de ellas parte lo que se llama *axón*, que es la prolongación de la neurona. Éste último, comienza el recorrido a través del *neuroeje* hasta llegar al nivel medular correspondiente.

Como puede observarse en la Figura 3.1, se pierde real dimensión, no solo de la ubicación espacial de cada uno de los niveles en el *neuroeje* humano que se están representando, sino que, además, no tienen una proporcionalidad que permita determinar el tamaño de cada uno de estos niveles. Esto se debe a que la imagen no está en una escala 1-1 con respecto al cuerpo humano.

Los mencionados recorridos a través del *neuroeje*, según *Cuadrado* [Cuadrado et al, 2001], son los comúnmente llamados en neuroanatomía *vías* o *rutas*. Estas *vías*, representadas en la Figura 3.1, son los *tractos*³ *corticoespinales*. Los mismos están implicados en el control de los movimientos voluntarios, aislados y especializados, de todo el cuerpo.

Por otro lado, en [Cuadrado et al, 2001] se explica que los *tractos corticoespinales* son el sistema formado por las *vías* del sistema nervioso central encargadas de llevar los impulsos nerviosos desde la corteza cerebral hasta las motoneuronas alfa de la médula espinal.

En el ejemplo mostrado en la Figura 3.1, no se logra apreciar con exactitud a través de qué estructuras o componentes va atravesando el *axón*, así como tampoco con qué neuronas va haciendo sinapsis en cada nivel medular. Esto se debe a que dicha figura muestra una visión global, restándole importancia a los detalles en los niveles intermedios.

Según Orellana, cuando este tema es abordado en clase mediante la Figura 3.1, la misma genera confusión en los alumnos, esto a su vez genera una pérdida de tiempo ya que dicha figura debe ser reanalizada, por ejemplo, con algún gráfico para interpretarla en detalle.

Esta problemática surge porque la Figura 3.1 es esquemática generando que se deban conocer más detalles para una correcta interpretación de la misma por parte de los alumnos.

Acorde a lo antes descritos se puede apreciar la necesidad de contar con recursos adicionales además del libro para poder transmitir adecuadamente el concepto involucrado.

² Es importante considerar en este punto que muchos de los diseños, diagramas y dibujos están diseñados en colores, por lo que una fotocopia del mismo haría que el mismo sea incomprendible.

³ Según la enciclopedia de la salud al definir *tracto* [Enciclopedia-de-la-salud], se aclara que, en neurociencias, es el haz de fibras nerviosas del *Sistema Nervioso Central* (SNC) que tienen el mismo trayecto y la misma funcionalidad.

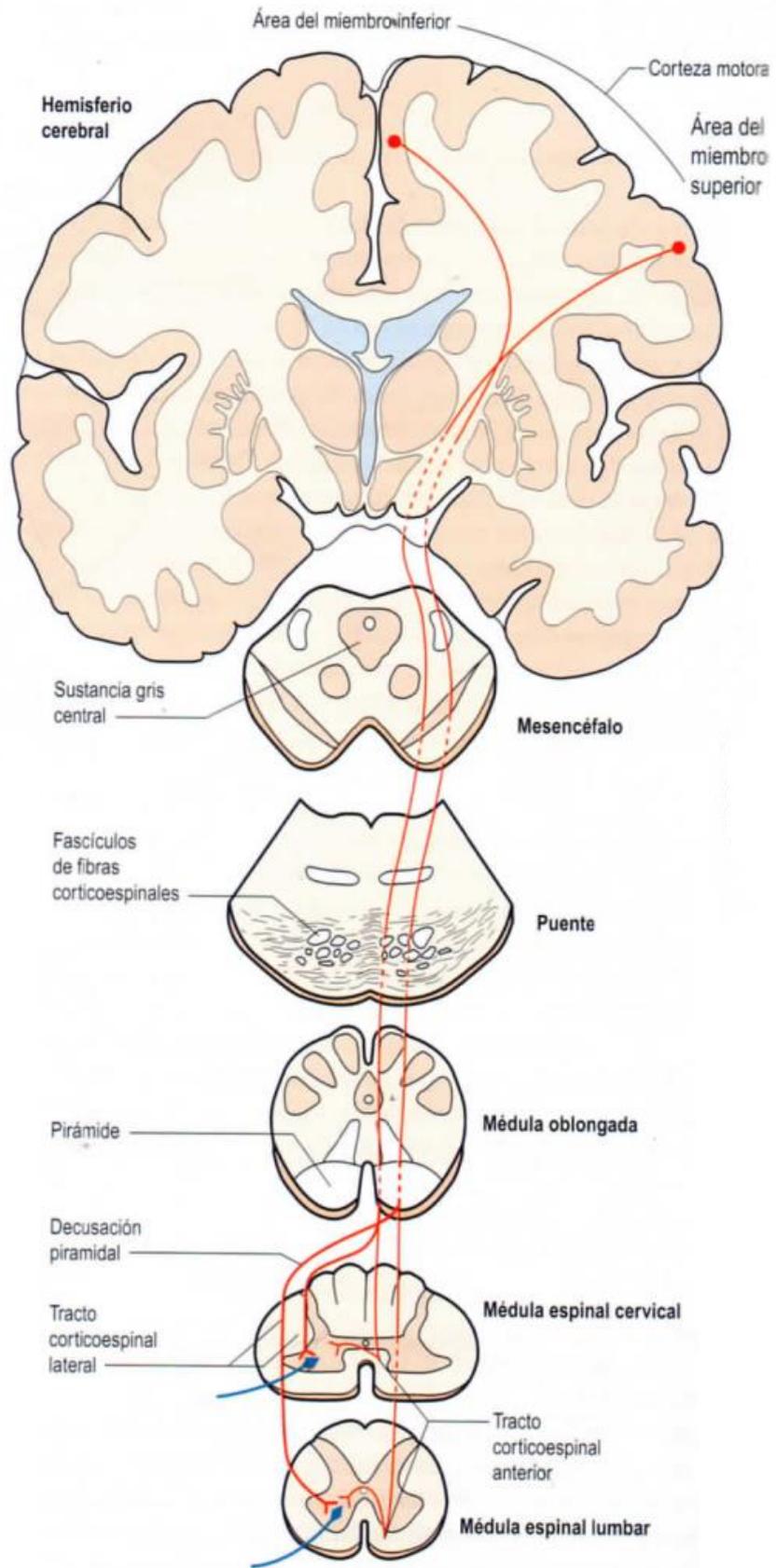


Figura 3.1 – Ejemplificación de los *tractos corticoespinales* [Crossman]

Otro esquema gráfico que los alumnos deben interpretar se muestra en la Figura 3.2, donde se observan una vía correspondiente al *nervio vestibulococlear*. Como explican Navarro y González [Navarro and González, 2017], este nervio es responsable del equilibrio estático y cinético y da la posición global de la cabeza en relación con los diversos planos del espacio. Además, el *axón* del nervio coclear finaliza en el conducto auditivo interno, como detalla Noguera [Noguera and Colaboradores, 2016].

Según menciona Rolando J. Giannaula [Micheli and Pardal, 2010] en su capítulo dedicado a los trastornos de los pares craneales, el *nervio vestibulococlear* presenta dos divisiones, la coclear, que se relaciona con la audición, y la vestibular, que lo hace con el equilibrio y la orientación en el espacio. La *porción coclear* corresponde al caracol o cóclea como se puede identificar en la Figura 3.2. En ésta se ubica el órgano de Corti, conjunto de células ciliadas que constituyen los receptores auditivos. La *parte vestibular* del laberinto está constituida por los tres conductos semicirculares (horizontal, anterior y posterior), el utrículo y el sáculo.

Como nos mencionaba Orellana, la endolinfa estimula las células ciliadas de las crestas ampulares de los conductos semicirculares ante las aceleraciones angulares generadas por la rotación de la cabeza. Mientras que los otolitos lo hacen sobre células ciliadas de las máculas del utrículo y el sáculo ante la aceleración lineal y cambios en la orientación de la cabeza. De una manera simple podemos decir que este nervio tiene gran incidencia en el equilibrio y la estabilidad. Por lo que una afección en éste podría generar problemas al caminar, acorde a esto, es muy importante que los alumnos comprendan adecuadamente el funcionamiento de esto.

A continuación, se mencionan algunos de los síntomas relacionados con la afección en cada tramo acorde a lo mencionado en [Micheli and Pardal, 2010]. Esto se realiza para ayudar al lector a tener una visión general de algunas problemáticas, para entender así, los desafíos de aprendizaje con los que se enfrentan los alumnos. Por ejemplo:

- una afección en la *parte vestibular* puede generar hipoacusia o sordera. Siendo la primera la disminución de la capacidad auditiva, y la segunda la pérdida de la misma.
- una afección en la *parte coclear* puede generar vértigo (o mareo) como así también nistagmo; el primero es la sensación de desorientación espacial, y cuando el aparato vestibular está comprometido el mareo es percibido como una ilusión de rotación o a veces de desplazamiento lineal del ambiente o de uno mismo. El segundo, el nistagmo, es un movimiento oscilatorio, rítmico e involuntario de los ojos, que aparece en forma espontánea o provocada por algunas pruebas que se describen al hablar de exploración.

Es decir, como nos menciona Orellana es de vital importancia que los alumnos puedan incorporar adecuadamente los conceptos de la Figura 3.2, para luego poder realizar diagnósticos adecuados.

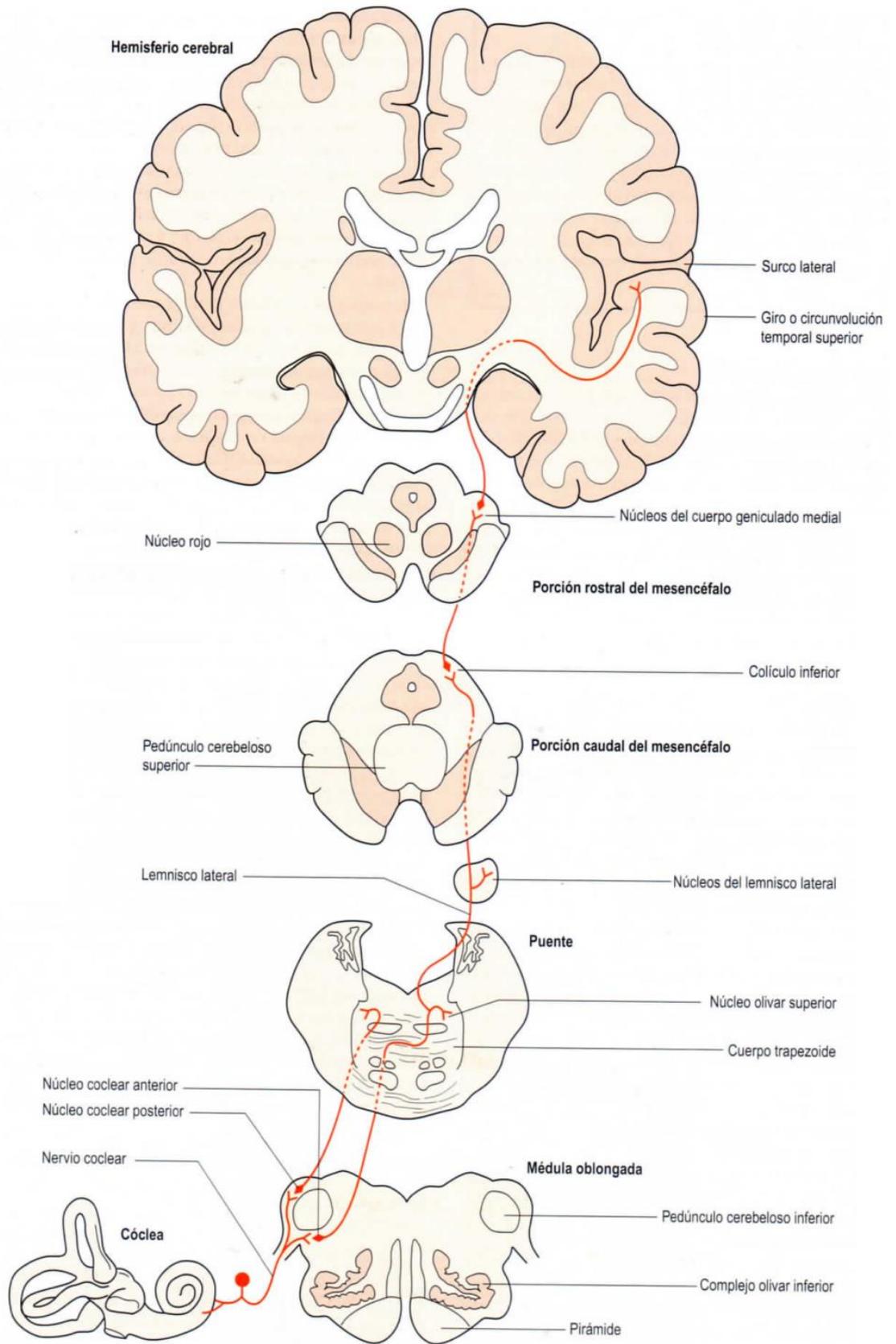


Figura 3.2 - Ejemplificación del tracto correspondiente a la vía del *nervio vestibulococlear*. [Crossman]

A simple vista, y sin contar con conocimientos de medicina se puede apreciar que tanto la Figura 3.1 como 3.2 comparten algunas estructuras, esto deducido de las formas de representación de cada *neuroeje*. Sin embargo, hay estructuras con formas diferentes y no queda claro para el lector, la ubicación de aquellas estructuras que difieren en el esquema conjunto del S.N.H. Por ejemplo, en la Figura 3.1, en su parte superior contiene las siguientes estructuras: el *Hemisferio Cerebral* (o *Encéfalo*), *Mesencéfalo* y el *Puente*, mientras que en la Figura 3.2 contiene el *Hemisferio Cerebral*, la *Porción Rostral del Mesencéfalo*, la *Porción Caudal del Mesencéfalo* y el *Puente*.

A continuación, se analizarán con mayor detalle las diferencias entre las Figuras 3.1 y 3.2 para poder ayudar al lector a comprender los desafíos a los que se enfrentan tanto los docentes como los estudiantes al tener que abordar esta temática.

En la Figura 3.3 se compara de las Figuras 3.1 y 3.2 las estructuras que se muestran después del *Encéfalo*, las cuales están remarcadas para poder detectar la ubicación de cada una de estas dentro de las Figuras 3.1 y 3.2. Además, en la parte inferior de la Figura 3.3 se realiza una ampliación de la zona comparada para una mayor apreciación de la diferencia. Se puede observar que en la Figura 3.3.a lo remarcado muestra la vía *córticoespinal* siendo el *Mesencéfalo* propiamente dicho, mientras que en la Figura 3.3.b en esa misma ubicación se muestra la porción rostral del *Mesencéfalo* perteneciente al *nervio vestibulococlear*.

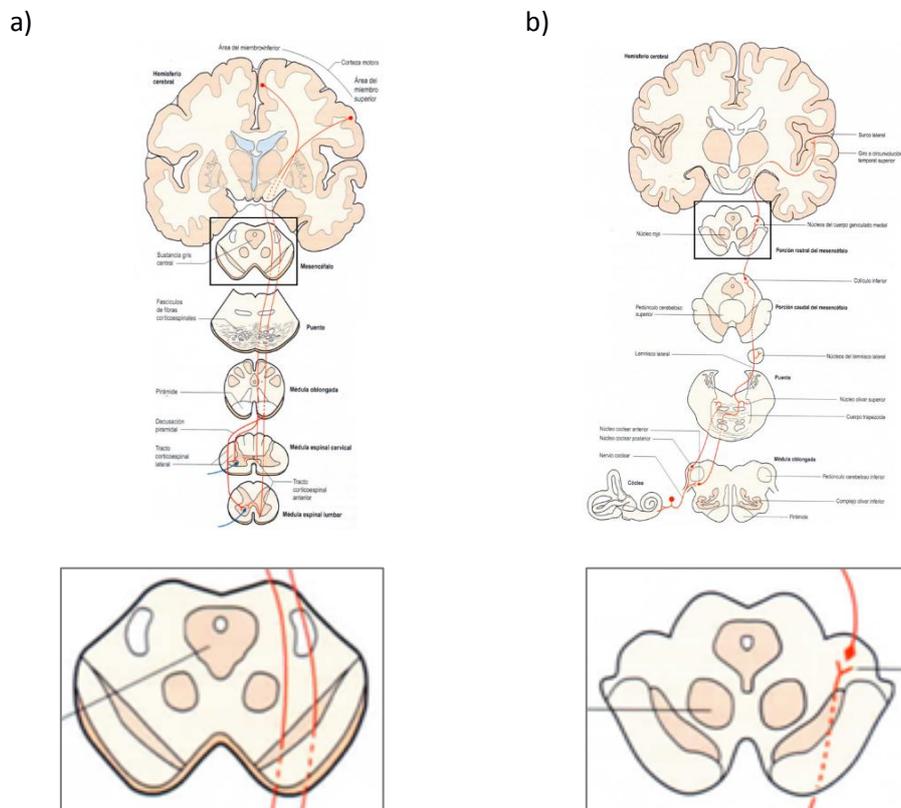


Figura 3.3. – Comparación de la primera estructura después del Encéfalo [Crossman]

Como se puede observar en la Figura 3.3 las estructuras comparadas difieren totalmente, no pareciéndose en sus formas y cantidad de componentes pertenecientes al mismo. Continuemos con la comparación de las Figuras 3.1 y 3.2, en la Figura 3.4 se muestra el

siguiente nivel de *neuroejes* en ambas figuras, nuevamente se puede apreciar que difieren en formas siendo significativamente muy diferentes cada una de estas.

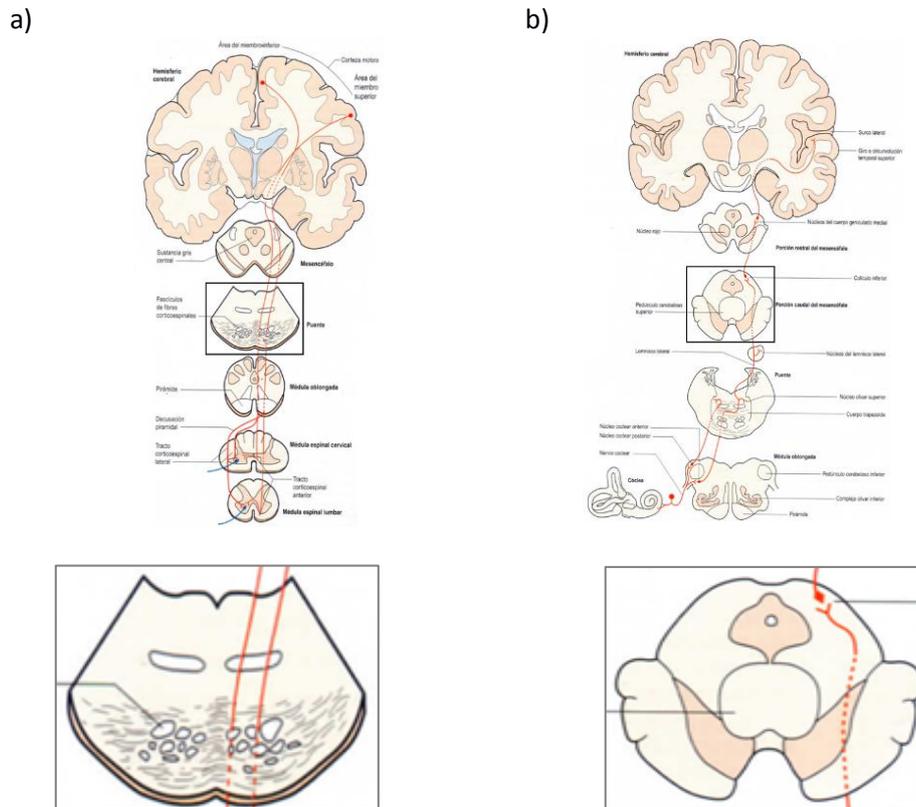


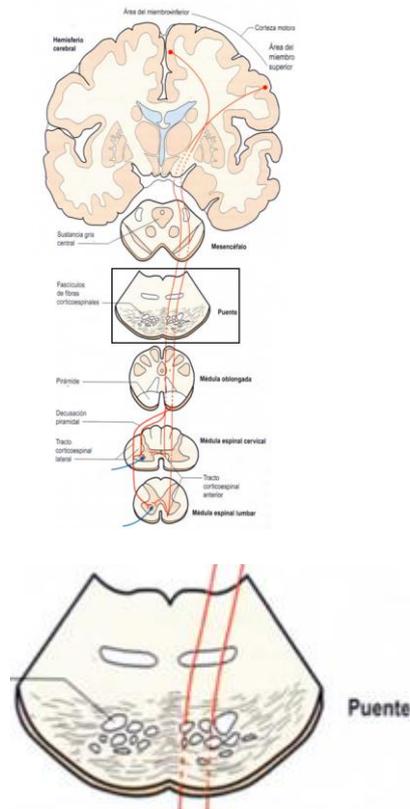
Figura 3.4. – Segunda estructura después del Encéfalo [Crossman]

Supongamos que ahora comparamos la segunda estructura después del *Encéfalo* de la Figura 3.1 con la tercera estructura de la Figura 3.2, esta comparación se puede apreciar en la Figura 3.5. En este caso, también difieren significativamente en la forma, sin embargo, lo llamativo es que ambas tienen indicado el mismo nombre, en este caso “*Puente*”. Esto se debe a que es una visión diferente de la misma zona.

Como menciona Orellana, la comparación presentada en la Figura 3.5, requiere un esfuerzo cognitivo para poder interpretar adecuadamente las imágenes, e interpretar que son dos visiones de lo mismo. Más aún, en una imagen la zona aparece como la segunda estructura (Figura 3.5.a) mientras que en la otra figura es la tercera estructura (Figura 3.5.b). Es decir, cambian de ubicación dentro de lo presentado en cada figura, esto se debe a que cada figura hace foco en las partes de interés para lo que se quiere mostrar, perdiendo real magnitud en donde está ubicada cada zona en una escala 1-1 con el cuerpo humano.

De esta manera se puede apreciar a través de estos ejemplos que los alumnos tienen que interpretar todos los gráficos por separado y entender a qué estructura medular se refiere, es decir, integrarlos mentalmente para tener una noción completa del S.N.H., lo que muchas veces se presta a confusión, genera frustración e incertidumbre. Esto lleva a que muchas veces los docentes necesiten usar recursos auxiliares para que los alumnos comprendan adecuadamente la ubicación de cada estructura dentro del cuerpo humano.

a)



b)

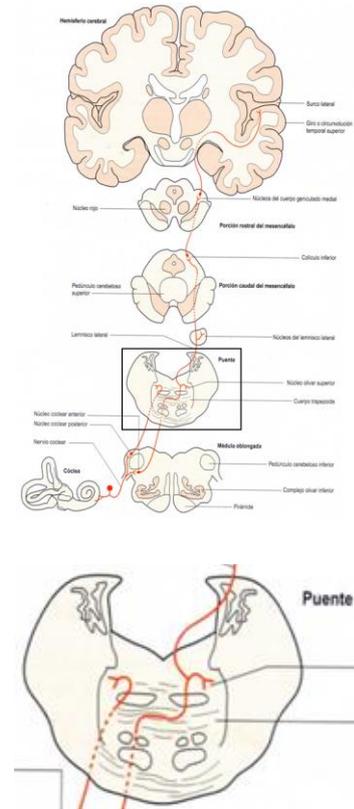


Figura 3.5. – Comparación de los niveles Pons de la vía Córtecoespinal y el nervio Vestibulococlear [Crossman]

De esta manera se puede apreciar como muchas veces las imágenes no son suficientes para poder comprender adecuadamente los conceptos abordados, dejando planteada una de las problemáticas de contar con recursos auxiliares que ayuden al docente en la tarea de transmitir de forma clara estos conceptos, para que los mismos puedan ser comprendidos por los alumnos de manera adecuada.

- **Apreciar la irrigación a partir de imágenes**

Según afirma Orellana otro ejemplo donde los alumnos deben poner mucho esfuerzo cognitivo es para comprender qué sucede en el *neuroeje* durante la irrigación sanguínea del mismo.

El proceso de irrigación se compone de muchos pasos o etapas en las que el torrente sanguíneo va cubriendo distintas zonas medulares, hasta irrigarla en su totalidad. Consecuentemente, los estadios por los cuales van pasando las neuronas al no recibir irrigación sanguínea (por ejemplo, en caso de un accidente cerebrovascular), hasta llegar a la muerte definitiva de las mismas, por un lado, no puede ser demostrado con facilidad por las limitaciones que tienen las imágenes al tener que mostrar una animación y por otro, no puede ser comprendido con facilidad por el lector dada la extrema complejidad de las mismas.

Como se puede observar en la Figura 3.6, se ilustra de forma detallada cada una de las venas y arterias que forman parte de la tarea de irrigación medular. Sin embargo, como comenta

Orellana en de las entrevistas, los alumnos, se encuentran con que por el carácter estático de la representación de la Figura 3.6, es imposible demostrar con imágenes el real flujo del torrente sanguíneo.

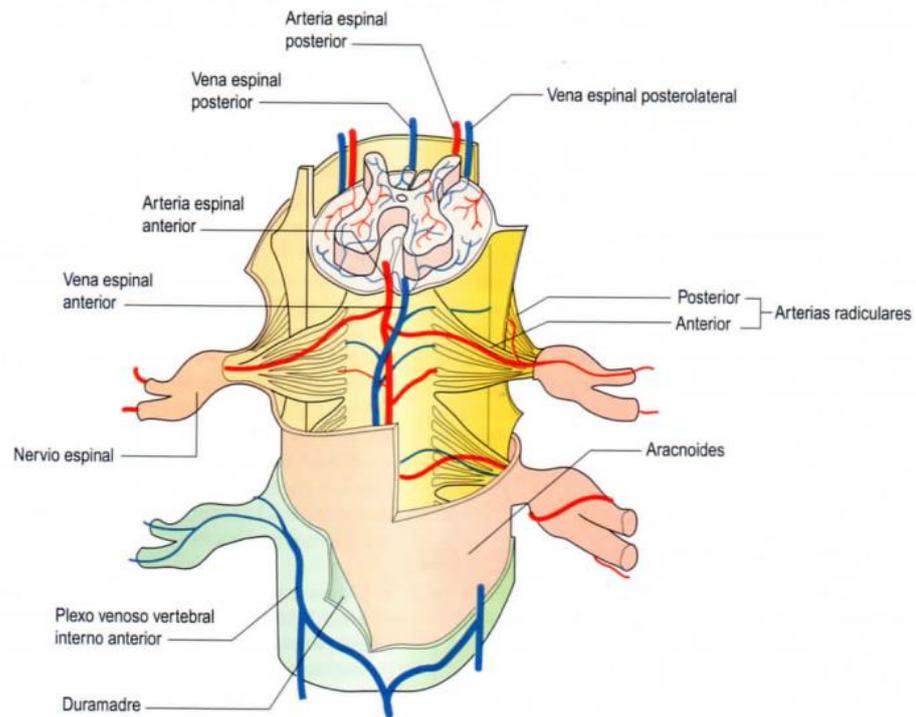


Figura 3.6. - Irrigación de una sección medular [Crossman]

Veamos más detalles de algunos aspectos relacionados con la comprensión del recorrido de la irrigación medular. Como lo mencionan *Moore y Dalley* [Moore and Dalley, 2009] esto involucra la irrigación desde el corazón ingresando a las arterias medulares. En este punto se bifurca, por un lado, dirigiéndose hacia el Encéfalo, irrigando a su paso las zonas torácicas, y por otro hacia las zonas cervicales, lumbares y sacras (zona inferior de la médula). Esto se puede apreciar en la Figura 3.7.

Además, se puede observar en la Figura 3.7 que es complejo representar los estadios por los cuales las neuronas van atravesando cuando la irrigación sanguínea no es la correcta, según Orellana, pueden ser entendidos y estudiados de mejor manera al observar el S.N.H en forma completa. Pero, sin embargo, esto no puede ser realmente comprendido en su totalidad solo a través de imágenes.

Como menciona Orellana también es complejo comprender a partir de la Figura 3.7 como son afectadas las neuronas cuando la irrigación presenta algún tipo de anomalía, ya que esto podría causar diferentes trastornos dependiendo de cuanto es la irrigación que llega a cada una de estas.

Arterias de la médula espinal: esquema

VÉASE TAMBIÉN LÁMINA 131

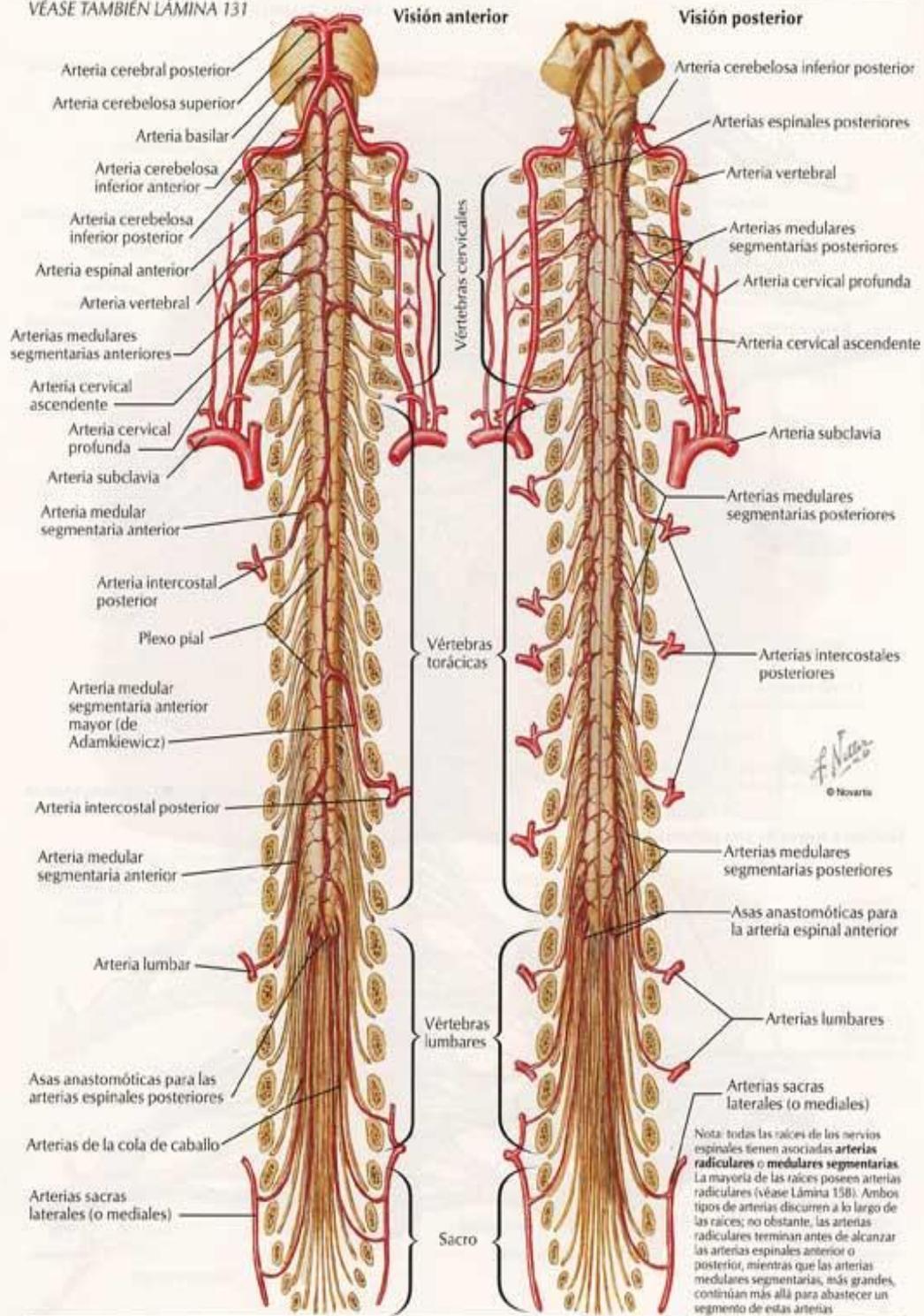


LÁMINA 157

DORSO Y MÉDULA ESPINAL

Figura 3.7. - Irrigación medular completa [Netter]

Estos ejemplos refuerzan la necesidad de contar con otros recursos de enseñanza además de los tradicionales para ser usados como complemento y poder así lograr una mejor comprensión de los conceptos por parte de los alumnos.

De esta manera, quedan planteadas dos problemáticas bien concretas en relación a la enseñanza en medicina sobre neuroanatomía humana:

- *Complejidad de las imágenes para comprender conceptos*
- *Apreciar la irrigación a partir de imágenes*

Acorde a esto, en esta tesina se presenta en el siguiente capítulo un prototipo informático de simulación para la enseñanza de la neuroanatomía humana, que permita abordar de manera complementaria a los sistemas tradicionales (por ejemplo, un libro) los desafíos mencionados en este capítulo.

4. Evolución del Modelo de Simulación usado de base

En este capítulo se presenta la historia relacionada con el *Modelo de Simulación* que es tomado como base de esta tesina. A lo largo del tiempo este modelo ha permitido explorar distintas opciones. Es importante destacar que todas estas exploraciones hay sido útiles para comprender las necesidades que son abordadas en el prototipo propuesto en esta tesina. La información detallada en este capítulo se ha recopilado a partir de las entrevistas realizadas al Dr. Orellana (ver Anexo A).

En el año 1998, el Dr. Orellana define un primer *Modelo de Simulación* del S.N.H, el cual fuera luego patentado en el año 2000, bajo el número de patente: AR005413A1⁴. En la Figura 4.1.1 se puede observar este primer modelo, el mismo muestra el *neuroeje* en su integridad, tanto anatómica como funcional desde un punto de vista tridimensional; se muestran las vías motoras descendentes: *Córtico Nuclear* y *Córtico Espinal*.

Como se puede observar en la Figura 4.1.1, el *Modelo de Simulación* planteado consta de doce diferentes cortes del *neuroeje*, con una ampliación apropiada para cada corte, algunos de ellos mostrados en las Figuras 3.1 y 3.2. Este *Modelo de Simulación* presenta un sector central sobre una base de mármol, limitado por dos barras de hierro ubicados verticalmente, que sustentan a una superposición de acrílicos con diferentes ángulos de inclinación, y terminando en el encéfalo con dos acrílicos en cruz, mostrando de forma frontal un corte coronal y perpendicular a éste una vista lateral del encéfalo. Cada corte *neuroeje* tiene su grafico asociado.

Sobre este *Modelo de Simulación* mostrado en la Figura 4.1.1 se instaló un led superior central en paralelo con otro u otros leds periféricos según el nivel; las distintas vías están representadas con un cable rojo, siguiendo la nomenclatura de los libros de estudio, uniendo cada uno de los niveles representados y mostrando el recorrido de cada una de ellas a través del *neuroeje*. En los laterales, se ubican paneles con texto, uno fijo a la derecha y tres intercambiables a la izquierda. En la parte posterior se despliega un telón blanco donde se proyecta la iluminación sectorizada.

Complementariamente, el modelo cuenta con una estructura metálica en forma de ortoedro o paralelepípedo rectangular que hace las veces de tablero de control. Este tablero cuenta con diversos pulsadores, en total cinco, que permiten realizar dos tipos de funciones: encender la iluminación del *neuroeje* y habilitar parte o la totalidad de las vías que este prototipo contiene. Esta funcionalidad asociada al *Modelo de Simulación* la vamos a denominar primer prototipo.

En cuanto a la iluminación, el primer prototipo asociado al *Modelo de Simulación* permite realizarla, mediante tubos fluorescentes, dividiendo el *neuroeje* en tres secciones importantes. Por una parte, permite iluminar los primeros cuatro cortes iniciando desde abajo hacia arriba. Éstos identifican, según determinó el Dr. Orellana, los más importantes de la médula espinal. En segunda instancia, permite iluminar desde el quinto corte hasta el undécimo. Éstos, según la experiencia del Dr. Orellana, son los cortes principales que forman parte del encéfalo. Finalmente, permite iluminar el encéfalo, mostrando las terminales nerviosas que lo componen.

⁴ La patente puede ser consultada en el sitio del INPI (*Instituto Nacional de la Propiedad Industrial*) con el número de patente AR005413A1. Página de la descripción de la patente: https://consultas.inpi.gob.ar/Patentes_Resultado?Va=491778&Vb=Concedida&Vc=019980103979 (Último acceso: 22-8-2018)



Figura 4.1.1 – Primer prototipo del Modelo de Simulación del S.N.H. - Imagen brindada por el Dr. Orellana

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, el primer prototipo permite habilitar parte o la totalidad de las vías que simula. Esta funcionalidad se realiza a través de un puntero con forma de lápiz, como se puede observar en la Figura 4.1.2. Dicho lápiz cumple la función de cierre de circuito eléctrico, permitiendo cerrar el circuito en cualquier parte del *neuroeje*, y activando los leds correspondientes a la vía activada desde el encéfalo hasta el led en cuestión.

Ésta forma de activación de las vías le permite al alumno interpretar cual es el recorrido que realiza la vía activada a través del *neuroeje* y por qué estructuras va atravesando hasta llegar a la neurona de su interés. De esta forma, el alumno interactúa con el modelo a medida que, por ejemplo:

- Va estudiando de la bibliografía que el profesor brindó
- El profesor va explicando el funcionamiento del *neuroeje*
- El profesor le toma examen

Como se puede observar tanto en las Figuras 4.1.1 como 4.1.2, el *Modelo de Simulación* es multifacético, brindándole tanto al profesor como al alumno muchas más posibilidades de aprendizaje y estudio que los métodos tradicionales, como puede ser un libro.

Las formas de uso de este primer prototipo son dos:

❑ *Estática*

El docente despliega su conocimiento explicando el contenido del *Modelo de Simulación*, que puede ser de forma vertical, es decir, explicando el contenido de cada nivel y su interacción con otros.

❑ *Dinámica*

El alumno se relaciona con el *Modelo de Simulación* previo a haber adquirido los conocimientos en forma estática. En el mismo puede elegir una vía, encender la misma y recorrer cada una de las neuronas que la componen.

El Dr. Orellana comprobó, en los años que formó parte de la currícula de *Anatomía de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de La Plata*, que el uso de este *Modelo de Simulación* mediante la forma estática estimula la memoria y mediante la forma dinámica se despierta la ideación del alumno.

Se puede apreciar en las Figuras 4.1.1 y 4.1.2 que la interacción que provee este primer prototipo es mínima, pero permite tener una mejor apreciación del *neuroeje* como así también las vías asociadas al mismo.

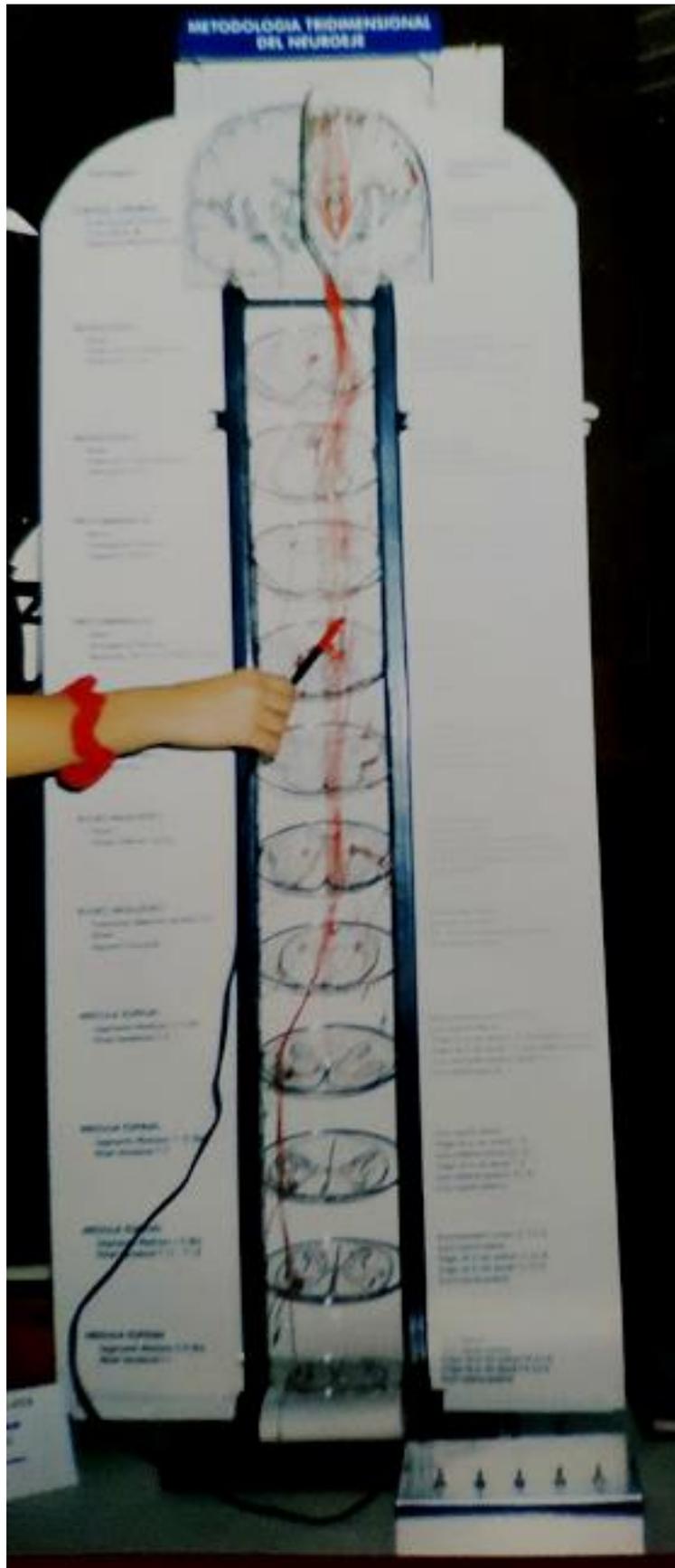


Figura 4.1.2 – Activación de los leds mediante el Tablero de Control - *Imagen brindada por el Dr. Orellana*

Dos años después, siendo el año 2000, el Dr. Orellana reimplementó este primer prototipo, lo que llevó a obtener uno nuevo. En este segundo prototipo, como se muestra en la Figura 4.1.3., se siguió con la misma línea de *Modelo de Simulación*, sin embargo, la complejidad de éste aumentó considerablemente con respecto a su predecesor.

En este segundo prototipo planteado, se cambia el tablero de control por una botonera individual en cada corte representado y se agregan vías aferentes [Enciclopedia-de-la-salud], es decir de ingreso de estímulos hacia el S.N.H., mostrando el avance del estímulo a través de la médula espinal hasta llegar al encéfalo, y por qué estructuras va atravesando, así como también con qué neuronas va haciendo sinapsis.

Las vías aferentes, tienen la misma complejidad planteada en el primer prototipo con las vías *Córtico Nuclear* y *Córtico Espinal*, dos de las vías eferentes [Enciclopedia-de-la-salud], es decir muestran cómo y por dónde responde el encéfalo ante una respuesta a un estímulo. De la misma manera que el predecesor, las neuronas pertenecientes a las vías aferentes están representadas con leds, siendo en este caso representadas en un color que respecta el tipo de ingreso de información. Por ejemplo, lo que se refiere al ingreso de información a través de los músculos, con color verde o a través de los órganos internos, con color naranja.

Por otro lado, y al aumentar considerablemente la complejidad del prototipo, el tablero de control debió dejar de usarse, ya que en primera instancia la cantidad de leds con las que se puede cerrar el circuito aumentó exponencialmente, y en segunda medida, la cantidad de vías y la relación entre ellas generó que las mismas deban mostrarse, por lo que obligó a agregar varias decenas de pulsadores. Esto se puede apreciar en la Figura 4.1.3.

Un año más tarde, el Dr. Orellana decidió realizar un segundo rediseño del *Modelo de Simulación*, llegando a un tercer prototipo. En esta oportunidad, sumó la irrigación, mostrando cómo el *neuroeje* es irrigado en su totalidad, y la vía *Termoalgésica*, que según explica Martínez [Martínez, 2007] es la que lleva los impulsos desde el exterior relacionados con la temperatura y el dolor hacia la corteza cerebral, donde este estímulo se hace consciente.

Este tercer prototipo terminó de completar los campos necesarios para poder explicar en forma casi completa el funcionamiento del *neuroeje*. Y fue gracias a este último prototipo, que el *Modelo de Simulación* creado tuvo múltiples premiaciones, menciones y participaciones de congresos en *Argentina* y en el exterior⁵.

⁵ Algunas de estas se listan a continuación:

- *Reunião de Integração de Morfologia Pan-americana. Foz do Iguazu e Puerto Iguazú. Octubre 2004.*
- *Ateneos Patológicos Mensuales "Vías de conducción del Sistema Nervioso" – 1ª Cátedra de Anatomía de la Facultad de Medicina de Buenos Aires. Octubre 2004.*
- *Participante del Premio a la Investigación Científica. Fundación MAPFRE Medicina. 2003.*
- *Vª Conferencia Argentina de Educación Médica. Innovaciones para la Calidad de la Educación Médica. Facultad de Ciencias Médicas. U.N.L.P. Octubre 2003.*
- *Curso Anual de Neuroanatomía Teórico – Práctico. Cátedra "A" de Anatomía. Facultad de Ciencias Médicas. U.N.L.P. Años 2000 a 2005.*
- *Curso de Postgrado de Capacitación en Diagnóstico y Tratamiento del Dolor. Cátedra de Deontología Médica y el Servicio de Docencia e Investigación del H.I.G.A. "San Martín" de La Plata. Abril-Mayo 2000. Curso de Postgrado de Capacitación en Diagnóstico y Tratamiento del Dolor.*



Figura 4.1.3 – Segundo prototipo del Modelo de Simulación del S.N.H. - Imagen brindada por el Dr. Orellana

En el año 2004, en conjunto con la *Cátedra de Trabajo Final de la Facultad de Ingeniería de la U.N.L.P.* se desarrolló el cuarto prototipo de este *Modelo de Simulación*, el cual se muestra en la Figura 4.1.4. El mismo se realizó juntamente con tres alumnos de la carrera de *Ingeniería Electrónica* de dicha facultad y presentado como trabajo final de la carrera por parte de los alumnos.

El cuarto prototipo se rediseñó en forma íntegra, modificando el formato de los acrílicos y la estructura de este. Los acrílicos pasaron a ser rectangulares en lugar de circulares, y se utilizó solo una columna de hierro que hace las veces de estructura y sostén de los primeros. Para este cuarto prototipo se utilizaron plaquetas electrónicas, diseñadas específicamente para este prototipo, y microcontroladores *ATMEL AT89C51-24PC*, el cual cuenta con 32 E/S, 128B de RAM y 4KB de memoria FLASH. Sin embargo, es importante resaltar que, al igual que el primer prototipo desarrollado (como así también el segundo y tercero), éste cuarto prototipo sigue manteniendo el sistema de iluminación de los cortes del neuroeje mediante tubos fluorescentes.

Como se dijo anteriormente, el *Modelo de Simulación* consta de doce diferentes cortes del *neuroeje*. Si bien este cuarto prototipo sigue manteniendo esta cantidad, dada la complejidad que implica este rediseño electrónico, se utilizaron para controlar cada uno de los niveles un total de trece plaquetas y microcontroladores: dos para controlar la totalidad de leds del encéfalo y los restantes once para cada uno de los cortes del *neuroeje*. Adicionalmente, y para interrelacionar y coordinar cada uno de estos microcontroladores, se utiliza uno adicional que hace las veces de coordinador de los trece restantes, implementando una interface Maestro-Esclavo.

La interface implementada en el cuarto prototipo, permitió realizar un avance importante, pudiendo conectarlo con una PC a través del puerto Serial (RS232). Gracias a esto y a través de un software desarrollador en *Microsoft Visual Basic 6.0*, el prototipo puede comunicarse la PC, permitiendo encender los leds tanto desde el software como del prototipo. Sin embargo, este software quedó inconcluso, permitiendo solo esta funcionalidad.

Dos años después, en el 2006, el Dr. Orellana crea el grupo de desarrollo llamado ***Sinaptics*** [Sinaptics], siendo conformado por él como director y asesor técnico, *Sebastián Gajate* encargándose de lo concerniente a la electrónica y diseño de videos e imágenes; y por el autor de esta tesina, *Pablo Martínez*, en diseño y programación de software.

El objetivo del grupo *Sinaptics*, en un principio, fue terminar la versión del programa desarrollado para el cuarto prototipo, algo que recién se pudo alcanzar en el año 2008, lo que le permitió al grupo participar del importante evento argentino Innovar [INNOVAR-208].

Algunas imágenes del software terminado para el cuarto prototipo se pueden apreciar en las Figuras 4.1.5 y 4.1.6. Donde se profundiza en la información que se recibe, identificando las partes con la que se está interactuando.

Luego de participar en el evento Innovar, el grupo *Sinaptics* pasó dos años intentando ubicar comercialmente el Modelo de Simulación a escuelas, universidades, etc. Se dictaron una gran cantidad de cursos y se obtuvo una gran cantidad de menciones. Sin embargo, y dada la complejidad que tenía el prototipo para enfrentar una cadena de producción, el prototipo no prosperó comercialmente, acorde a esto, el grupo *Sinaptics* estuvo varios años hasta que decidió retomar nuevamente este proyecto.

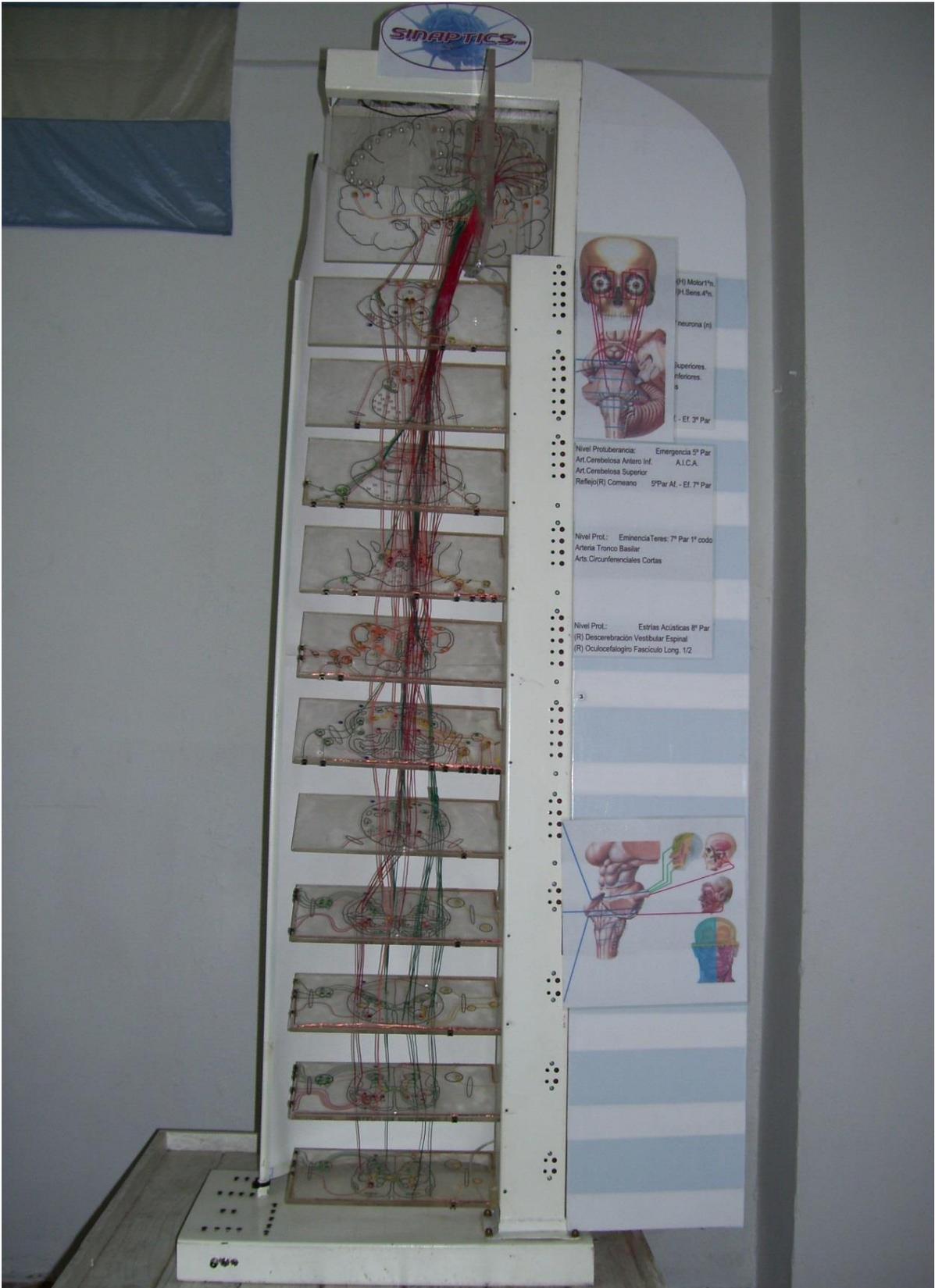


Figura 4.1.4 – Cuarto prototipo del Modelo de Simulación del S.N.H. - Imagen brindada por el Dr. Orellana

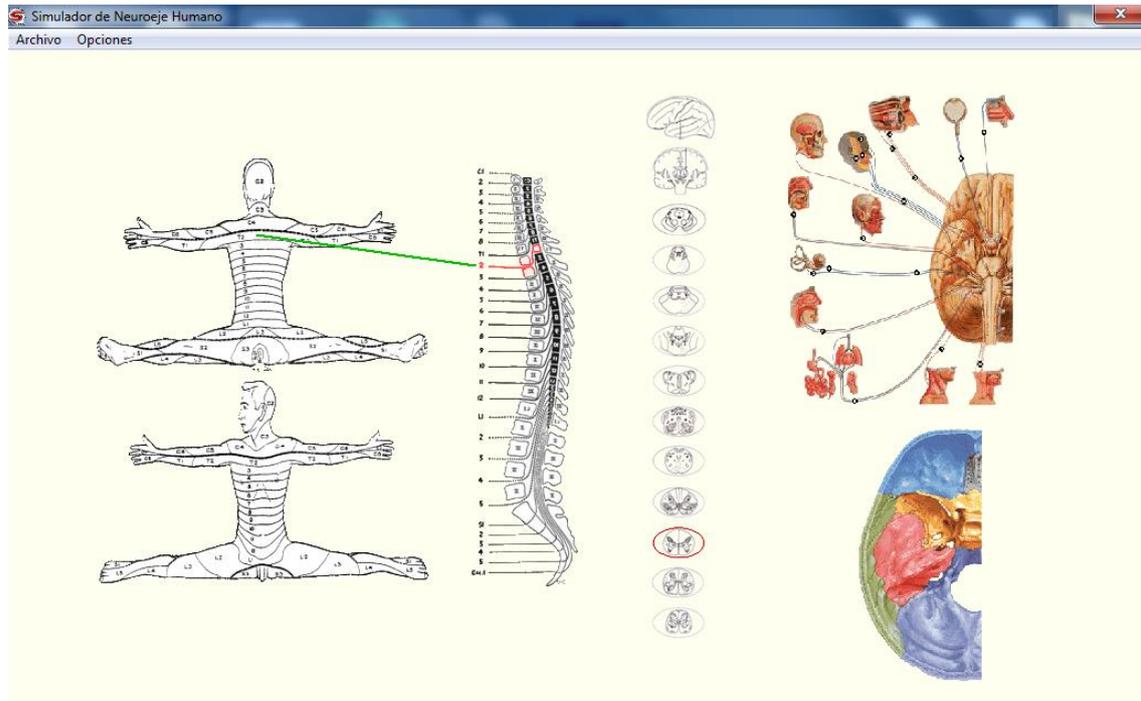


Figura 4.1.5 – Pantalla principal del primer software desarrollado por *Sinaptics* [Sinaptics]

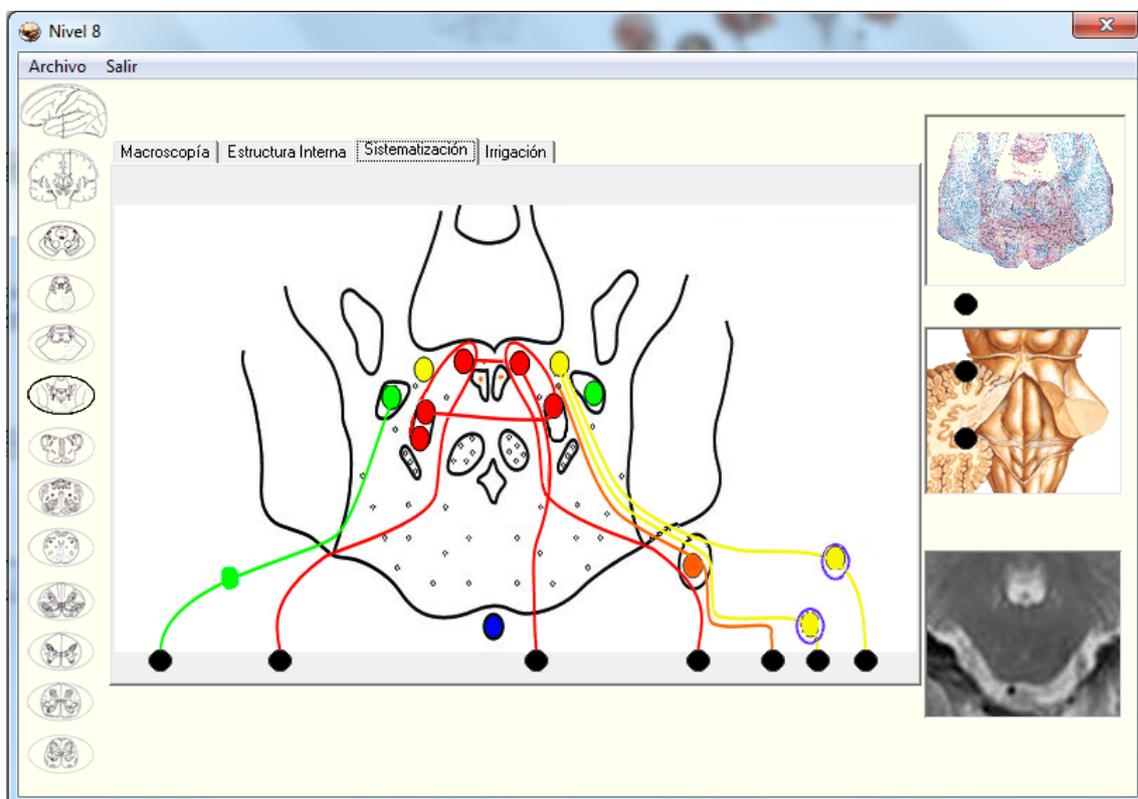


Figura 4.1.6 – Pantalla que muestra como activar la sistematización en primer software desarrollado por *Sinaptics* [Sinaptics]

Cinco años después, siendo el año 2015, el Dr. Orellana reflota el grupo *Sinaptics* con la idea de retecnologizar el *Modelo de Simulación* y permitir que sea fácilmente reproducible. Es así como el grupo comenzó a desarrollar un quinto prototipo.

Luego de unas semanas de análisis, el grupo se inclinó por comenzar con el desarrollo de un prototipo con conexión inalámbrica a través de la tecnología Wireless. Para ello se utilizó un microcontrolador *Raspberry Pi* [RaspberryPi]. Ésta cuenta con cuatro puertos USB a través del cual permite conectar cualquier dispositivo. De esta manera, se conectó un *Wifi Dongle USB* (ver Figura 4.1.7.) y se configuró la *Raspberry Pi* para que acepte conexiones entrantes a través de dicho dispositivo. Paralelamente, comenzó a desarrollarse un software de similares características al desarrollado para el cuarto prototipo, aunque en esta oportunidad utilizando el lenguaje de desarrollo Java [Java].

Rápidamente el grupo se encontró con diversas complicaciones, una de ellas fue la de tener que realizar al menos tres softwares. Uno, el recién mencionado reemplazo del software asociado al cuarto prototipo. Adicionalmente, uno que administre la red Wireless, recibiendo y enviando datos tanto del software de PC como así también del prototipo; y finalmente uno que administre el prototipo en sí.



Figura 4.1.7 – Dispositivo USB para poder conectar un equipo a una red Wireless [Asus]

En el año 2016, habiendo tenido la mala experiencia con el microcontrolador *Raspberry Pi* pero queriendo igualmente desarrollar un prototipo con tecnología de última generación, el grupo *Sinaptics* decidió cambiar de óptica y desarrollar un prototipo totalmente funcional y de fácil reproducción. Para ello se inclinó por realizar el *Mínimo Producto Viable* [MPV], una estrategia de desarrollo de productos.

Por esta razón el grupo decidió rediseñar y actualizar el primer prototipo desarrollado por el Dr. Orellana, utilizando tecnología de punta, creando un sexto prototipo del *Modelo de Simulación*. Es

decir, redujo la complejidad del prototipo realizando un *Modelo de Simulación* funcional, con electrónica de última generación. Esto dio lugar al prototipo desarrollado en esta tesina.

Cabe destacar que el autor de esta tesina forma parte del grupo *Synaptics* desde sus inicios, lo que le permitió tener un amplio conocimiento en los temas médicos abordados en esta tesina, más allá del aprendizaje a nivel tecnológico, que ha sido partícipe a lo largo de estos años y de los prototipos desarrollados.

5. Prototipo desarrollado

En este capítulo se presenta el sexto prototipo del *Modelo de Simulación* presentado en el Capítulo 4, se realiza primero una descripción del mismo y luego se presentan las pantallas desarrolladas para interactuar con el mismo. Cabe mencionar que tanto el software como el hardware de leds, fueron configurados e implementados en su totalidad por el autor de esta tesina, más allá que este trabajo se enmarca dentro del grupo *Sinaptics*.

5.1. Descripción del prototipo desarrollado

En esta sección se presentan las características principales del sexto prototipo creado en relación al *Modelo de Simulación* presentado en el Capítulo 4. Este prototipo cambia el puntero de encendido de las vías por una *Tablet*, la cual permitirá la ejecución un software diseñado exclusivamente para este prototipo, y que es parte del aporte de esta tesina.

En la Figura 5.1.1. se puede apreciar no solo el rediseño de la estructura física en relación a las mostradas en el Capítulo 4, sino también la *Tablet* que se hacía referencia, y desde la cual se ejecutará el software desarrollado. En particular dicha imagen muestra la animación de la primera y segunda neurona de la vía motora.

Como se puede apreciar en la Figura 5.1.1, el sexto prototipo está compuesto por una torre de 150 x 30 x 30 cm. Tiene, como sus antecesores, placas superpuestas con diferente angulación donde se encuentran gráficos impresos. Estos gráficos representan los mismos doce cortes que se vienen utilizando en los anteriores prototipos (detallados en el Capítulo 4), amplificados a una escala apropiada para su estudio. Las placas tienen indicadores luminosos y son atravesadas por cables de color rojo, indicando la vía eferente.

Las columnas laterales, de 130 x 3 x 7 cm cada una, están realizadas en aluminio, permitiendo reducir el peso del *Modelo de Simulación* considerablemente, sustentada sobre una base en su cuadrante anterior. En la cara interna, se fijan las placas y la iluminación led sectorizado específicamente para iluminar cada nivel medular. La base, de 45 x 35 x 5 cm, presenta en su parte central y por delante de la visual de las placas, un visor LCD que muestra el estado actual del modelo y el *Polígono de Willis* [PoligonoWills], área de arterias muy importante para la irrigación sanguínea del cerebro. Este último se puede ver representado en el *Modelo de Simulación* en la Figura 5.1.2.

El prototipo permite habilitar diversas vías completas, que mostrarán por cuáles neuronas irá pasando el estímulo y por cuáles estructuras irá atravesando, así como también le mostrará al usuario el nombre de la vía que está activando. Asimismo, el software podrá habilitar diferentes animaciones, que se verán reflejadas en el *Modelo de Simulación*.

Si bien la estructura física (columnas laterales, laminas, etc.) del *Modelo de Simulación* del sexto prototipo fue rediseñada por el grupo *Sinaptics*, tanto el software como el hardware relacionado a los leds fueron configurados e implementados en su totalidad por el autor de esta tesina. Abordando así uno de los objetivos de esta tesina.

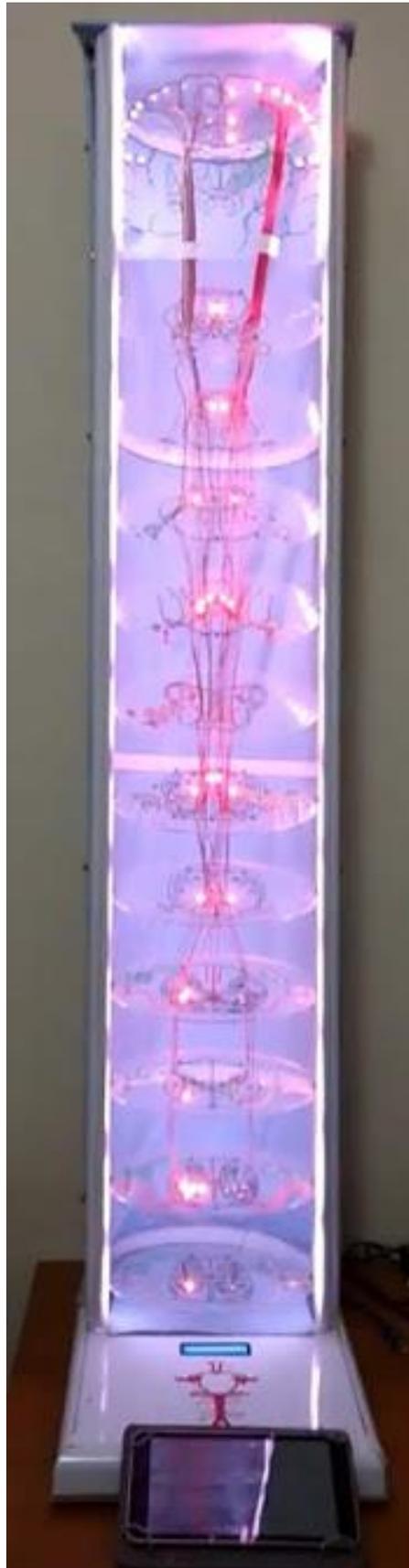


Figura 5.1.1 – Sexto prototipo activando una de las animaciones, desde el software realizado para la Tablet [Sinaptics]

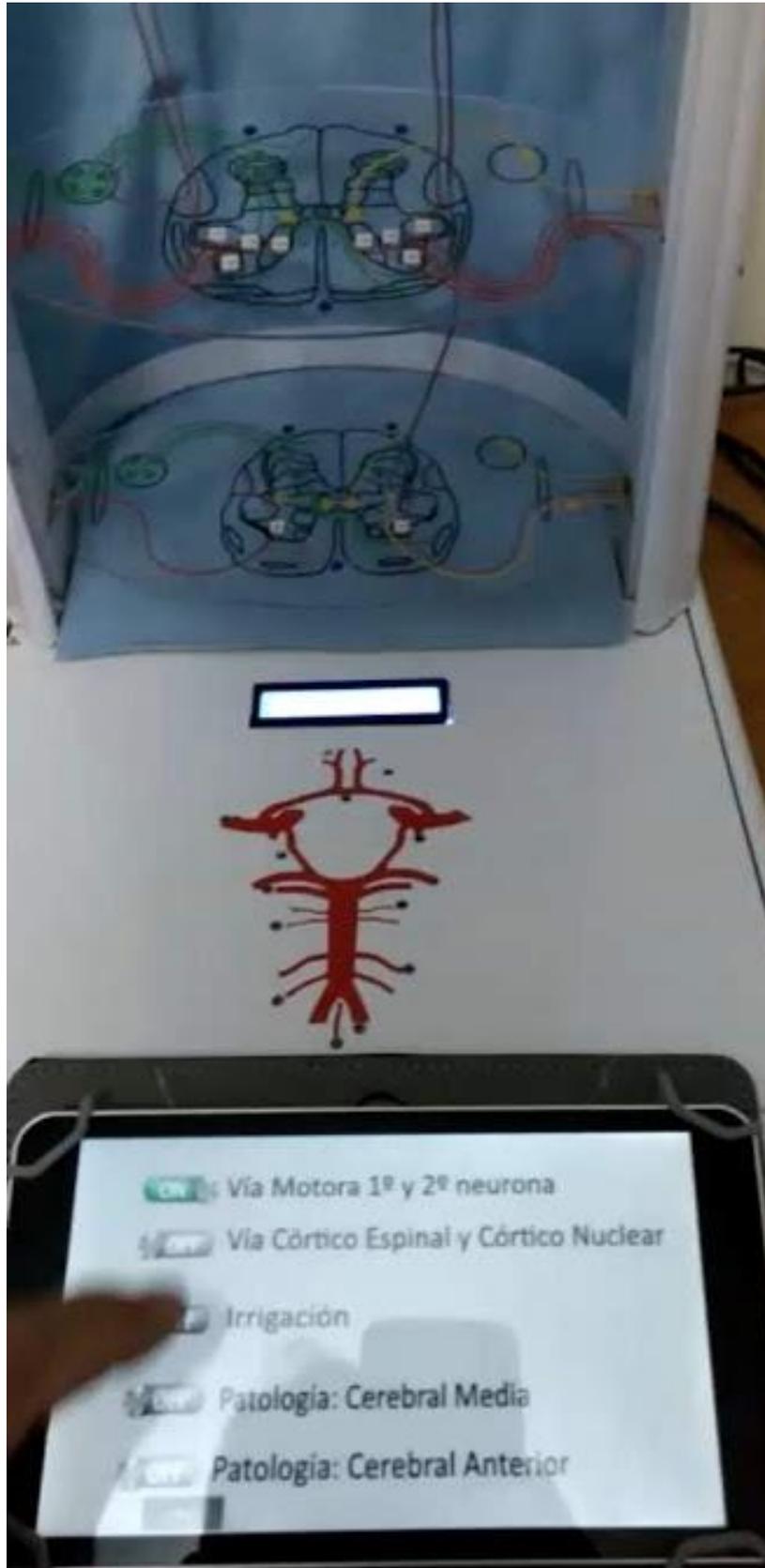


Figura 5.1.2 – Polígono de Willis ubicado en la base del Modelo de Simulación, junto a la Tablet que permite ejecutar el software desarrollado [Sinaptics]

Como se describió en el Capítulo 4, para la iluminación en los prototipos anteriores se utilizaba la tecnología de tubos fluorescentes. Esto ocasionaba algunos trastornos, ya que suelen romperse con facilidad, y al ser un dispositivo que suele moverse seguido para dar clases había que transportarlo con muchos recaudos para evitar este tipo de inconvenientes. En el sexto prototipo, se decidió rediseñar esta utilidad del *Modelo de Simulación*, utilizando la tecnología led. De esta manera, se pudo a su vez, individualizar la iluminación en cada uno de los cortes, lo cual resultó en una utilidad mucho más práctica, ya que puede ubicar al alumno de que estructuras se está hablando con mayor facilidad.

Por otra parte, en el sexto prototipo las neuronas que componen cada corte del *Modelo de Simulación* están realizadas completamente con leds RGB de última generación, llamados *NeoPixel* (los cuales fueron descritos en la Sección 2.2). Permitiendo realizar diferentes animaciones, como por ejemplo la falta de irrigación sanguínea en el cerebro dando como resultado la muerte de las neuronas.

Para controlar estos leds, tanto los de iluminación como los que componen los cortes del *Modelo de Simulación*, se utiliza un STM32 (descrito en la Sección 2.2), en adelante STM. Se utiliza un único STM en todo el prototipo, siendo un microcontrolador central que controlará toda su funcionalidad.

De esta manera, el STM está programado para controlar los leds *NeoPixel* utilizando la librería *Adafruit NeoPixel* (descrita en la Sección 2.2), modificada de forma que permita controlar varios conjuntos de leds en forma separada. La forma de utilización de esta librería se describe en el Código 5.1.1.

```
// Control de los NeoPixeles
#include <WS2812B.h>

// Defino la cantidad de LEDs total
#define cantidadLeds 78
#define cantidadLedsCostado 60

// Inicializo los Neopixeles con el PIN y la cantidad de LEDs
WS2812B stripCentral = WS2812B(1, cantidadLeds);
WS2812B stripLaterales = WS2812B(2, cantidadLedsCostado);

// Inicializo los leds
stripCentral.begin();
stripLaterales.begin();

// Configuro el color de los leds centrales
for (int i = 0; i < cantidadLeds; i++) {
    // Configuro el color del led actual en rojo
    stripCentral.setPixelColor(i, stripCentral.Color(150, 0, 0));
}
// Enciendo los leds centrales, con el color previamente configurado
stripCentral.show();

// Configuro el color de los leds de iluminación
for (int i = 0; i < cantidadLedsCostado; i++) {
    // Configuro el color del led actual en blanco
    stripLaterales.setPixelColor(i, stripLaterales.Color(150, 150, 150));
}
// Enciendo los leds laterales, con el color previamente configurado
stripLaterales.show();
```

Código 5.1.1 – Configuración y encendido de los leds con la librería *Adafruit NeoPixel*

Como se puede observar en el Código 5.1.1, la librería de *NeoPixel* debe ser instanciada con dos parámetros, siendo el primero de ellos el número PIN en el que está conectado el cable de datos de cada uno del conjunto de leds a manejar, al STM. Gracias a este cambio realizado en la librería original, se pueden controlar tantos conjuntos de leds **NeoPixel** como se deseen, siempre y cuando haya pines en el STM disponibles.

El STM conectado juntamente con un ESP8266 (el cual se describió en la Sección 2.2), en adelante ESP, permite generar una red *Wireless* fácilmente. Para ello, el STM debe enviarle al ESP una serie de comandos AT para configurarlo. Particularmente el *Modelo de Simulación*, presentado en este capítulo, crea una red Wireless llamada *Sinaptics*, como se puede observar en la Figura 5.1.3.

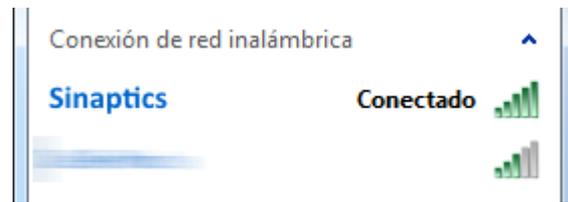


Figura 5.1.3 – Conexión Wireless generada por el ESP8266 y configurada por el STM32

La configuración para lograr la conexión mostrada en la Figura 5.1.3 se puede apreciar en el Código 5.1.2.

```
void ConfigurarWireless ()
{
    // Es de vital importancia que entre comando y comando se espere a que el
    // ESP8266 reciba e interprete cada uno de ellos, por ello, se debe hacer un
    // delay() después de cada instrucción enviada
    // Escribo el comando que habilita la configuración del ESP8266
    Serial1.write("AT\r\n");
    delay(200);

    // Configuro en modo AP
    Serial1.write("AT+RST\r\n");
    delay(200);

    // Configuro en modo AP
    Serial1.write("AT+CWMODE=2\r\n");
    delay(200);

    // Configuro las credenciales, canal encriptación WPA_WPA2_PSK
    Serial1.write("AT+CWSAP=\"SINAPTICS\", \"*****\", 11, 4\r\n");
    delay(200);

    // Cierro todas las conexiones que puedan llegar a haber
    Serial1.write("AT+CIPCLOSE=5\r\n");
    delay(200);

    // Configuro para múltiples conexiones
    Serial1.write("AT+CIPMUX=1\r\n");
    delay(200);

    // Inicia el servidor en el puerto 1336
    Serial1.write("AT+CIPSERVER=1,1336\r\n");
    delay(200);
}
```

Código 5.1.2 – Configuración del módulo ESP8266 en modo Access Point con seguridad WPA2

La configuración a través del STM, mostrada en el Código 5.1.2, es de vital importancia, ya que no sólo se configura el nombre y contraseña con los tendremos que conectarnos con cualquier dispositivo, sino que, además, se configura un puerto exclusivo, el 1336, para el envío y recepción de datos desde los dispositivos que deseen enviarle datos al *Modelo de Simulación* para así encender y apagar los leds que se desee. De esta manera, se tiene una doble seguridad, no solo en cuanto a las credenciales que se deben utilizar para conectarse al *Modelo de Simulación*, sino que además se debe utilizar un puerto específico para cualquier intercambio de información.

El ESP, por defecto al configurarse como *Access Point*, se configura con la dirección de IP 192.168.4.1. De manera que cualquier dispositivo externo debe referirse a esa dirección IP para emparejarse y actualizar el estado tal como está en el *Modelo de Simulación*. Desde el software desarrollado para la *Tablet* solo basta con realizar el envío de los datos. En el Código 5.1.3. se muestra como está implementada la clase que realiza dicha funcionalidad. De esta manera invocando el método *EnviarDato* con el texto a enviar, se podrá conectar con el *Modelo de Simulación* y encender los leds deseados.

```
public class ConexionWireless : MonoBehaviour {
    const int PORT_NO = 1336; //Puerto de conexión
    const string SERVER_IP = "192.168.4.1"; // Dirección IP del Modelo de
    Simulación
    TcpClient client; // Objeto con el cual nos debemos conectar al servidor
    NetworkStream nwStream; // Objeto con el cual podemos enviar datos

    // Método constructor de la clase
    void Start() {
        Conectar();
    }

    void Conectar () {
        try {
            // Crea un objeto TcpClient con la IP y puerto
            client = new TcpClient(SERVER_IP, PORT_NO);
            nwStream = client.GetStream();
            Console.WriteLine("Conectado!");
        } catch (Exception e) {}
    }

    public void EnviarDato(string dato) {
        try {
            // Si el cliente no está conectado, debo reconectarme
            if (!client.Connected)
                Conectar();
            // Carácter de corte
            dato += "|";
            // Convierto la cadena de texto a enviar a Bytes
            byte[] bytesToSend = ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes(dato);
            //Envío el txto
            Console.WriteLine("Sending : " + dato);
            nwStream.Write(bytesToSend, 0, bytesToSend.Length);
        } catch (Exception e) {}
    }

    public void CerrarConexion() {
        try {
            if (client.Connected)
                client.Close();
        } catch (Exception e) {}
    }
}
```

Código 5.1.3 – Código para conectarse y hacer envío de datos al *Modelo de Simulación*

Otra diferencia importante respecto del sexto prototipo en relación con los anteriores prototipos de los *Modelos de Simulación* desarrollados (y presentados en el Capítulo 4), son las animaciones. El software cuenta con cinco animaciones precargadas, que permiten entender cómo reacciona y/o funciona el *neuroeje* en cada una de ellas.

Las animaciones son importantes ya que el *Modelo de Simulación* termina de hacer un gran aporte respecto de los métodos tradicionales de enseñanza. Esto permite mostrar la fluidez con la que el *neuroeje* funciona algo que no estaba presente en los prototipos anteriores (descritos en el Capítulo 4).

Es importante conocer, a la hora de implementar las animaciones, el manejo del clock del microprocesador. Éste ejecuta las instrucciones que se encuentren dentro del método *loop()* infinitamente cada 1 milisegundo (*ms*). Esto significa, una vez que se termine de ejecutar la última instrucción de este método, el procesador aguardará 1ms para comenzar a ejecutar nuevamente dicho método. Acorde a esto, y dado que las animaciones deben ser apreciadas, 1ms es demasiado rápido para que el ojo humano pueda observar el encendido y apagado de los leds tan rápidamente. Teniendo en cuenta esta limitación, se decidió utilizar la librería *TaskScheduler* [TaskScheduler], ya que las animaciones deben ejecutarse a un ritmo diferente. Esta librería permite crear *tareas* o *tasks* que se ejecutan cada una cierta cantidad de milisegundos y la cantidad de veces que se desee. Por ejemplo, podemos crear una tarea que se ejecute cada 5ms y se haga en forma permanente, como se aprecia en la Figura 5.1.4.

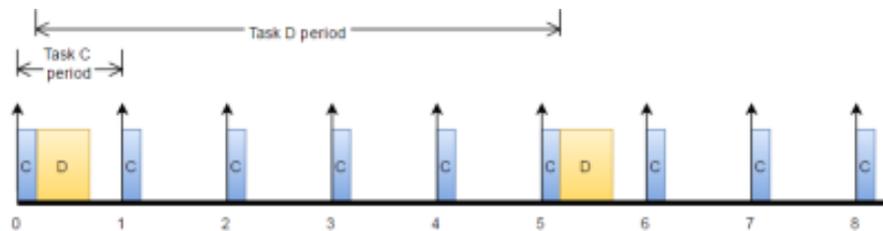


Figura 5.1.4 – Ejecución de un método cada 5ms con la librería *TaskScheduler*

En el Código 5.1.4 se puede apreciar cómo se utiliza la librería *TaskScheduler* para lograr ejecutar una tarea que se ejecute cada 5ms.

```
// Librería Scheduler para manejo de tareas
#include <TaskScheduler.h>

// Callback methods prototypes
void task ();

// Tarea que se ejecutará cada 5ms, se repetirá infinitamente, y se ejecutará
el método task
Task tarea (5, TASK_FOREVER, &task);
Scheduler runner;

// Inicio el Scheduler
runner.init();
// Agrega la tarea al scheduler
runner.addTask(tarea);
// Habilita la tarea
tarea.enable();
// Ejecuta el scheduler
runner.execute();
```

Código 5.1.4 - Código para crear un scheduler con ejecución cada 5ms

De esta manera, para llevar a cabo el manejo de animaciones, se debe crear una función del tipo *Task* de la siguiente manera:

```
Task tareaAnimaciones (100, TASK_FOREVER, &taskAnimaciones);
```

Con la sentencia especificada anteriormente, se crea la función *tareaAnimaciones* que se ejecutará con un intervalo de 100ms infinitamente y se trabajará con el método *taskAnimaciones*. Se llegó a la conclusión, luego de observar una serie de pruebas, que el mejor tiempo para la muestra de las animaciones es con 100ms, resultando en una mejor apreciación visual y en un mejor entendimiento de la animación que se está estudiando.

5.2. Pantallas del prototipo desarrollado

En esta sección se presentan las pantallas del software desarrollado en *Unity* (entorno descrito en la Sección 2.2). En la Figura 5.2.1 se observa la pantalla principal del software; desde aquí se puede acceder a las dos secciones: *Animaciones* y *Niveles*.



Figura 5.2.1 – Pantalla principal del software desarrollado para la Tablet

Como se puede apreciar en la Figura 5.2.1, se eligió una imagen de fondo que sea significativa para lo que representa el software en sí, una especie de red interconectada, simulando la red neuronal. Como imagen frontal, se observa el logo del grupo *Sinaptics* junto con el slogan. Y por debajo de estos, las dos secciones a las cuales se pueden acceder actualmente.

Veamos a continuación que muestra cada una de las secciones provistas en la Figura 5.2.1.

❑ Sección de Animaciones

Al seleccionar la sección *Animaciones* de la Figura 5.2.1, se proveen cinco animaciones precargadas, que permite encender leds de la torre de acuerdo con la que se haya activado. Por ejemplo, en la Figura 5.2.2. se muestra que se activó la animación de Irrigación. Se puede apreciar en dicha figura las otras cuatro animaciones disponibles.

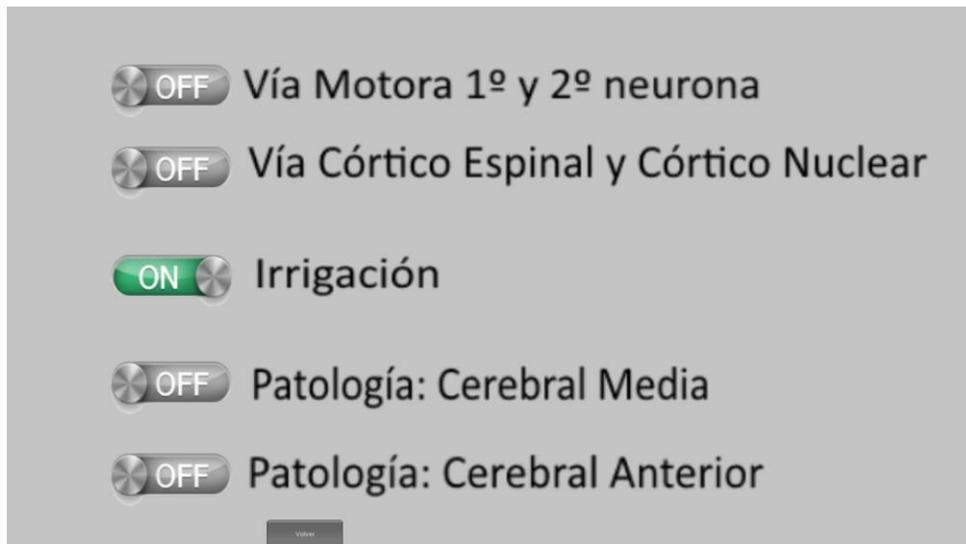


Figura 5.2.2 – Pantalla de animaciones disponibles, con la animación de Irrigación activada

Cabe mencionar que las primeras dos animaciones detalladas en la Figura 5.2.2, explican la importante función de cada una de las vías en el *neuroeje*. Muestran el recorrido por cada una de las neuronas que participan en cada una de las vías activadas. Por otro lado, la animación de *Irrigación* muestra cómo se irriga la totalidad del *neuroeje* paso a paso, pudiéndose identificar cómo va avanzando la irrigación sanguínea en cada uno de los cortes, el Polígono de Willis y el encéfalo. Finalmente, las dos animaciones restantes, son animaciones de patologías que se pueden sufrir ante algún inconveniente en una de las arterias, dependiendo de la animación activada: *Cerebral Media* o *Cerebral Anterior*. Estas dos últimas animaciones muestran cómo van muriendo las neuronas ante la falta de irrigación sanguínea.

De esta manera los alumnos pueden apreciar esta funcionalidad apreciando el flujo generado para cada una de estas mediante el encendido de los leds introducidos en la Sección 5.1.

□ Sección de Niveles

Al seleccionar la sección *Niveles* de la Figura 5.2.1, se muestran los cortes del *neuroeje* tal como se pueden observar en el *Modelo de Simulación*. Esto permite que el que esté utilizando el software sienta que está frente él. Permite a su vez, hacer un recorrido de todo el *neuroeje*, deslizando la pantalla de la *Tablet* hacia arriba o abajo. Esto se puede apreciar en la Figura 5.2.3, donde se muestra uno de los niveles del *neuroeje*.

El usuario del software puede ingresar a alguno de los cortes que se visualizan en la pantalla pulsando dos veces seguidas sobre la misma, haciendo las veces de “*doble clic*”. Una vez ingresado al nivel deseado, puede comenzar a controlar el encendido de los leds. Recordando que estos son neuronas, lo que el usuario está realizando es identificar qué es lo que sucede con esa neurona en particular, y activar el recorrido que realiza en todo el *neuroeje*. Por lo tanto, se encenderá una serie de leds en el *Modelo de Simulación*, identificando la vía en la cual participa dicha neurona.

Para poder identificar la ubicación las neuronas dentro de cada corte, determinando la ubicación tanto dentro de la vía como del corte, las mismas se grafican con un círculo rojo. Asimismo, se determinó que las mismas tengan un funcionamiento similar a los leds del

prototipo. Es decir, si está encendido dicho círculo estará relleno con color rojo en su interior, mientras que si está apagado el mismo estará vacío y solo se verá el contorno rojo del círculo que identifica a la neurona.

En la Figura 5.2.4, se ingresó al primer corte del software, y se activó la neurona 1º Corteza y 2º Asta Anterior. Se puede apreciar que se activó la neurona de la izquierda de la imagen, que se puede identificar con un círculo con relleno rojo, mientras que la neurona de la derecha está sin activar, ya que su círculo rojo no está relleno.

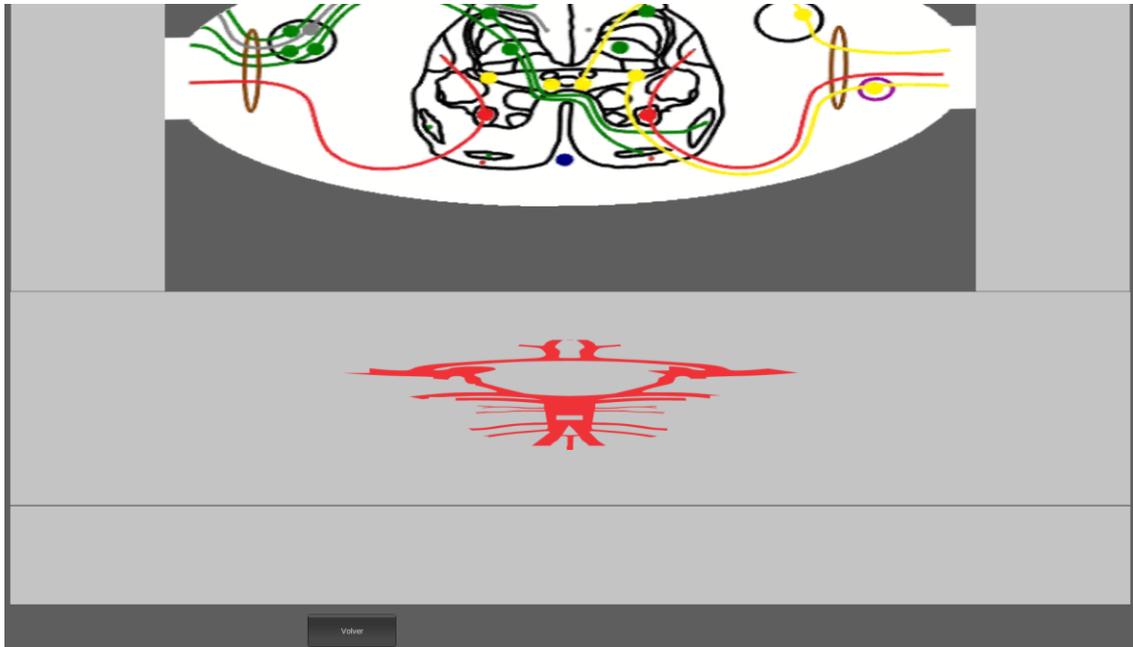


Figura 5.2.3 – Visualización de los cortes del *neuroeje*

Neuronas: 1º Corteza y 2º Asta Anterior

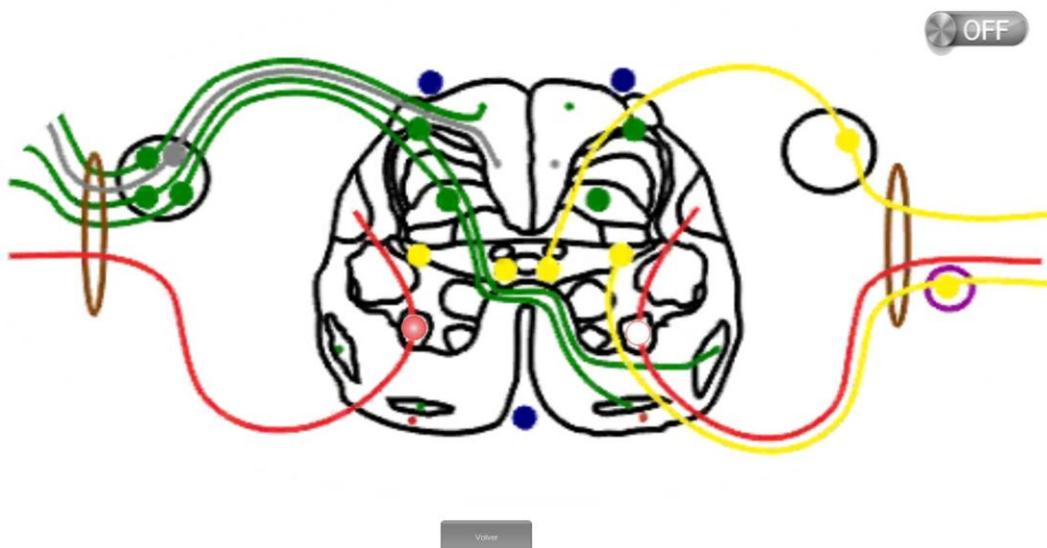


Figura 5.2.4 – Activación de una vía, activando una neurona

Al presionar cualquiera de las neuronas desde el software, e ingresar a otro corte, se verá reflejada la neurona encendida que forma parte de la vía que se encendió, así como también en el encéfalo. Es decir, siguiendo con lo mostrado en la Figura 5.2.4, luego de activar la neurona izquierda, si se cambia de corte, por ejemplo, a nivel de encéfalo se observará que está encendida la primera neurona de la parte anterior del cerebro, como se puede observar en la Figura 5.2.5.

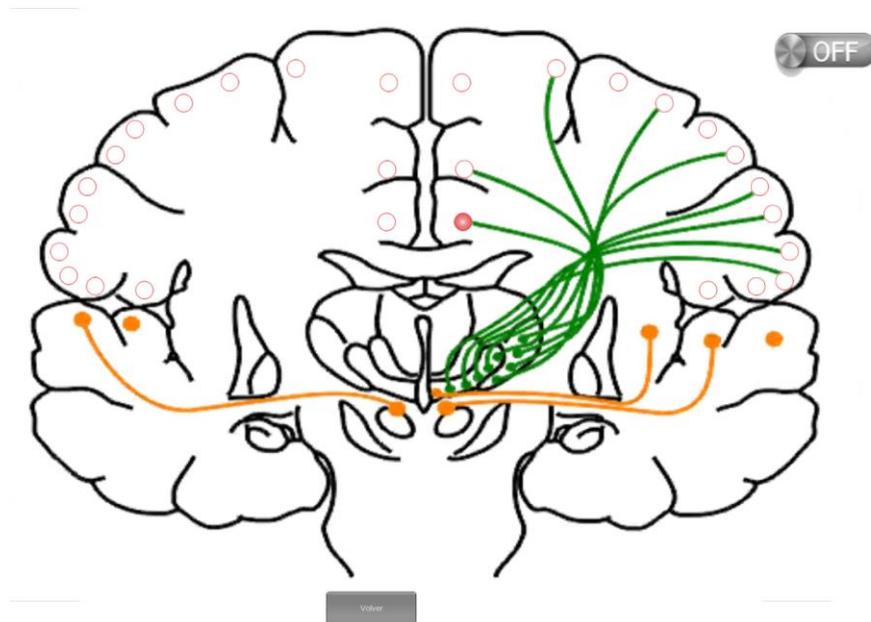


Figura 5.2.5 – Muestra la neurona que hace referencia a la vía activada en la Figura 5.2.4.

De esta manera, el alumno puede seguir el camino que realiza el estímulo a través de la vía con la activación de una neurona, mostrando todas las neuronas con las que se va haciendo sinapsis. Es decir, al activar una neurona, se activarán de la misma manera todas aquellas que formen parte de la vía a la que pertenecen hasta llegar a la neurona que se encuentra en el encéfalo. Esto es más que interesante, ya que no solo activa la vía completa en el *Modelo de Simulación*, sino que además en el propio software.

Podría pasar que sin tener el *Modelo de Simulación* enfrente, el usuario del software puede estudiar las escalas neuronales de cada vía, sirviendo de apoyo a la bibliografía utilizada y facilitando el estudio de estas. Cuando además se cuenta con el *Modelo de Simulación* es mucho más completo lo que puede apreciar.

Como se puede observar en las Figuras 5.2.4 y 5.2.5., en la parte superior derecha se encuentra un botón gris con la palabra "OFF". Al presionar el mismo, encenderá la iluminación en el corte actual, facilitando al profesor la explicación al poder ubicar al alumno en que corte se está actualmente, por ejemplo. Cabe mencionar, además, que estos botones pueden ser presionados independientemente uno de otro, y estar encendido más de uno al mismo tiempo.

De la misma manera al ingresar al nivel del *Polígono de Willis*, por ejemplo, al seleccionarlo de la parte inferior de la Figura 5.2.3; se muestra una pantalla como se puede observar en la Figura 5.2.6. En esta última figura, en la parte izquierda de la pantalla, se observa el *Polígono*

de Willis propiamente dicho con cada una de las posibles activaciones, en este caso son arterias que irrigarán neuronas o sectores del *neuroeje*. Mientras que en el sector derecho de la Figura 5.2.6, se observa una representación del *Modelo de Simulación* en forma completa, que, al presionar sobre el mismo, se mostrará en forma completa, como se observa en la Figura 5.2.7.

En la Figura 5.2.7 no solo muestra una representación completa del *Modelo de Simulación*, sino que además permite encender la iluminación de cada uno de los cortes que componen el *neuroeje*. De esta manera, a medida que se va mostrando la irrigación del *Polígono de Willis*, se puede ir indicando en que niveles tiene incidencia cada una de las arterias que componen al mismo.



Figura 5.2.6 – Foco en el Polígono de Willis

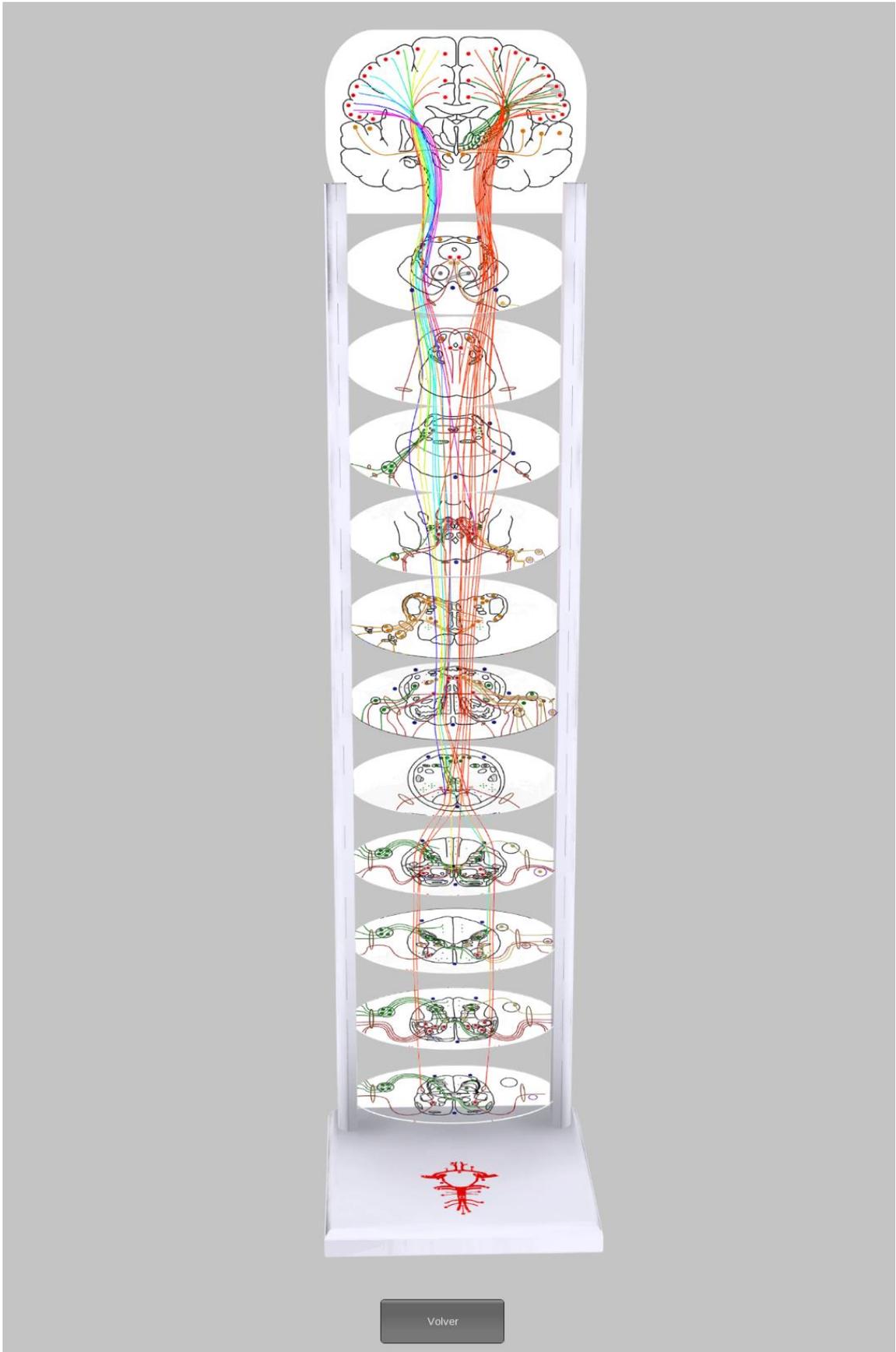


Figura 5.2.7 – Foco la representación del *Modelo de Simulación* desde el software

6. Ejemplo de Uso del Prototipo

Como se ha podido observar en las figuras de la Sección 5.2 distintos colores se ven involucrados en las diferentes pantallas del prototipo, para ayudar al lector en la comprensión de los ejemplos que se muestran a continuación se presenta primero el significado dado a cada uno de estos.

Cada color, como se mencionó en el Capítulo 4, representa un tipo de vía. De esta manera puede determinarse que estructuras atraviesa cada una de ellas a través del neuroeje con mayor facilidad. Por ello, el Dr. Orellana decidió organizar la nomenclatura de colores de la siguiente manera (acorde a las respuestas brindadas en las entrevistas presentada en Anexo A):

- Color **Rojo**: Son las vías eferentes del neuroeje, es decir, aquellas que muestran cómo y por dónde responde el encéfalo ante una respuesta a un estímulo.
- Color **Verde**: Son las vías aferentes del neuroeje, es decir, aquellas que son de ingreso de estímulos hacia el S.N.H., avanzando del estímulo a través de la médula espinal hasta llegar al encéfalo.
- Color **Amarillo**: Son las vías viscerales, es decir, aquellos estímulos que van y vienen desde los órganos internos del cuerpo humano.
- Color **Naranja**: Son las vías especiales de sentidos, es decir, aquellos estímulos que provienen de cualquiera de los cinco sentidos que posee el cuerpo humano: vista, gusto, olfato, tacto y oído.

Este código de colores es importante para entender la importancia de cada una de las vías, la ubicación de cada una y la sinapsis que hace las neuronas que comparte con otras vías. De esta forma, el S.N.H. puede entenderse estudiando cada vía por separada o como un todo al estudiar todas ellas en su integridad.

A continuación, se presentan diferentes ejemplos para mostrar la funcionalidad descrita en el Capítulo 5.

6.1. Ejemplos de Animaciones precargadas

Como se mencionó anteriormente en el Capítulo 5, el software dispone de cinco animaciones precargadas, las cuales se detallan a continuación.

❑ **Animación 1 - Vía Motora 1º y 2º neurona**

La vía motora está conformada por dos grandes grupos de neuronas. El primer gran grupo de neuronas se encuentran en el encéfalo mientras que el segundo grupo la conforman todas las neuronas que están en la médula espinal, es decir, todas aquellas que no pertenecen al encéfalo. Para mejor entendimiento por parte del alumno, en el prototipo presentado en esta tesina se decidió mostrar qué neuronas forman parte de la vía motora en cada hemisferio del cerebro.

Acorde a esto, la animación, está dividida en dos partes: una que muestra las neuronas del lado izquierdo del conjunto de 1ras neuronas, la totalidad de las neuronas desde el 5º corte hasta el 11º y finalmente las neuronas del lado izquierdo desde el 1º hasta el 4º corte. Esto se puede apreciar en la Figura 6.1.1.a. La segunda parte, se realiza de igual forma, pero en los lados inversos de la corteza y cortes inferiores; como se puede observar en la Figura 6.1.1.b.

a.



b.



Figura 6.1.1 – Animación: Vía motora 1º y 2º neurona.

Como se puede observar en la Figura 6.1.1, la razón por la cual se realiza la división y cruzamiento en el 5º corte es debido a la decusación de la vía motora. Razón por la cual la animación debió dividirse en dos, para que pueda ser comprendido correctamente este concepto.

Se puede apreciar también en las Figura 6.1.1.a y 6.1.1.b que desde el 5º al 11º corte la animación de ambas figuras es igual, sin embargo, en el resto de los niveles difiere en que sector se ve afectado. Por ejemplo, en la Figura 6.1.1.a se tienen encendidos los primeros cuatro cortes del lado derecho junto con el 12º corte del lado izquierdo. Esto se espeja en la Figura 6.1.1.b, siendo los primeros cuatro cortes del lado izquierdo y el ultimo corte del lado derecho.

Notar que en el cd de la tesina se podrá apreciar un video de esta animación para poder tener mayor comprensión del dinamismo del prototipo.

❏ **Animación 2 - Vía Córtrico Espinal y Córtrico Nuclear**

En esta segunda animación se continúa con el mismo principio de división de neuronas del *neuroeje*, para un mejor entendimiento. En este caso, la animación se divide en cuatro estadios. Ya que en este caso son dos vías las que se muestran, *córtrico espinal* y *córtrico nuclear*, y hay que diferenciarlas perfectamente.

De la misma manera que en la animación mostrada en la Figura 6.1.1, estas dos vías a su vez se dividen en dos, perteneciendo al hemisferio izquierdo y derecho.

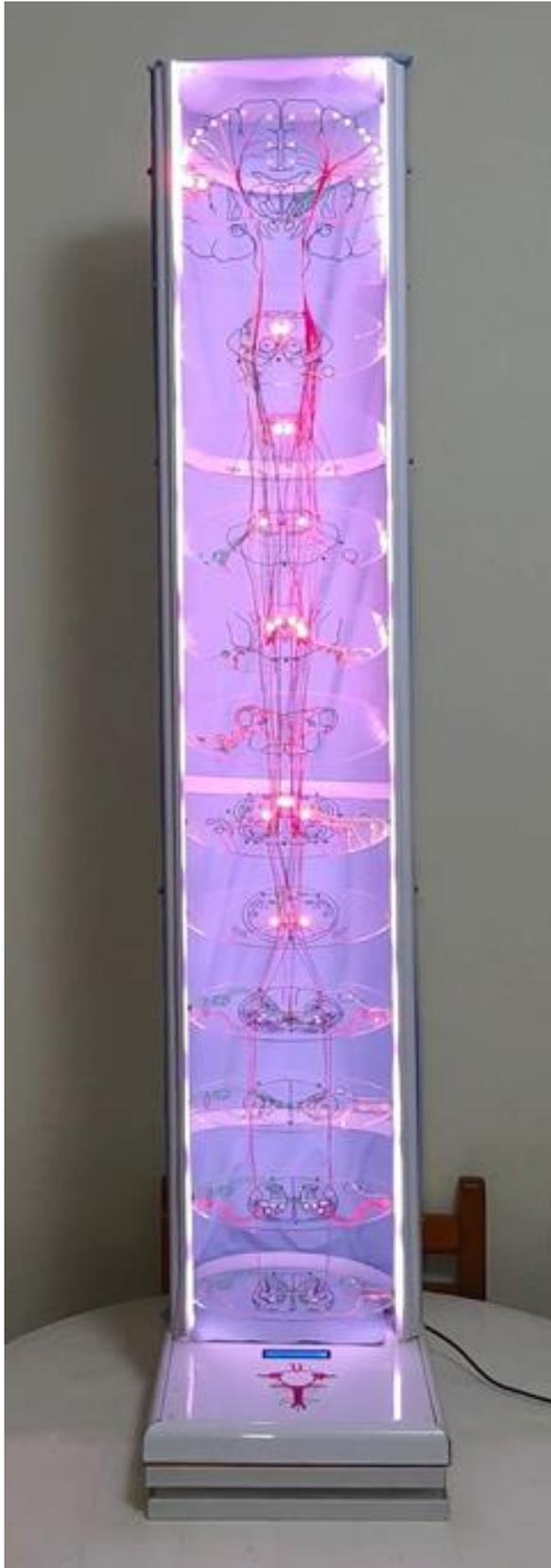
En la Figura 6.1.2.a se muestra la vía *córtrico nuclear* del hemisferio izquierdo, mostrando las primeras seis neuronas inferiores del encéfalo y aquellas que se encuentran entre el 11º corte hasta el 5º iniciando desde arriba hacia abajo. Cabe aclarar que se muestra esta primera mitad de la animación, ya que la segunda parte tiene las mismas características, pero implementada sobre el hemisferio derecho.

En la Figura 6.1.2.b se muestra la vía *cortico espinal* del hemisferio izquierdo, mostrando el resto de las neuronas de la parte izquierda del encéfalo y aquellas que se encuentran del sector derecho por debajo del 4º corte. Cabe aclarar que se muestra esta primera mitad de la animación, ya que la segunda parte tiene las mismas características, pero implementada sobre el hemisferio derecho.

En la Figura 6.1.2 ocurre algo similar a la Figura 6.1.1, se puede observar que la decusación de las vías ocurre a mismos niveles de corte. Mostrando que no es importante qué vías se estén mostrando, la decusación es general para todas.

Notar que en el cd de la tesina se podrá apreciar un video de estas animaciones para poder tener mayor comprensión del dinamismo del prototipo.

a. *Vía córtico nuclear del hemisferio izquierdo*



b. *Vía córtico espinal del hemisferio izquierdo*

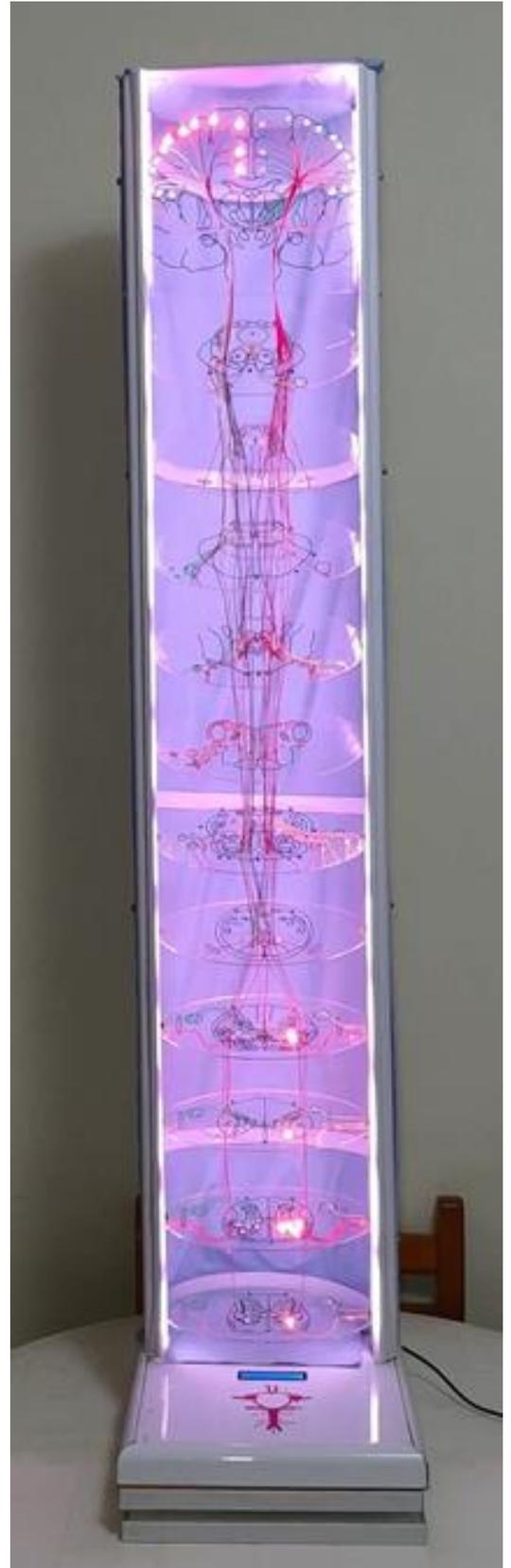


Figura 6.1.2 – Animación: *Vía Córtico Nuclear y Córtico Espinal.*

❏ Animación 3 - Irrigación

En esta tercera animación se presenta la irrigación sanguínea del *neuroeje* en forma completa. Es de vital importancia para el alumno conocer los territorios tanto de la médula como del encéfalo que son irrigados para detectar a tiempo posibles patologías, dos de ellas pueden observarse en las siguientes animaciones.

Es por ello, que el grupo *Sinaptics* tuvo en cuenta esta necesidad e implementó una animación que muestra paso a paso qué neuronas son irrigadas. En el Capítulo 3 se describieron los pasos de la irrigación y en la Figura 3.7 (del Capítulo 3) se mostró como es recorrida la médula por las arterias. Con este concepto, se puede entender qué territorios van a ser irrigados primeramente y cuáles en lo sucesivo.

En la Figura 6.1.3 se puede apreciar la irrigación, acode a esto se puede entender por qué hay áreas en distintas neuronas del *neuroeje* que están siendo irrigadas y otras no lo están.

De esta manera se pueden detectar patologías con mayor facilidad, ya que una arteria tapada va a traer como consecuencia territorios del *neuroeje* sin irrigar, lo que va a traer como consecuencia una patología.

Se puede observar también en la Figura 6.1.3 cómo se ve reflejada esta irrigación en el *Polígono de Willis*, en el sector inferior del *Modelo de Simulación*. Notar que en el cd de la tesina se podrá apreciar un video de estas animaciones para poder tener mayor comprensión del dinamismo del prototipo.

En la Figura 6.1.4, se puede observar el encéfalo siendo irrigado. Se puede determinar mediante esta imagen, cómo avanza la irrigación sanguínea en el cerebro, envolviendo al cerebro en forma completa desde adentro hacia afuera y desde afuera hacia adentro en ambos hemisferios al mismo tiempo.



Figura 6.1.3 – Imagen completa del neuroeje, perteneciente a la animación: *Irrigación*.

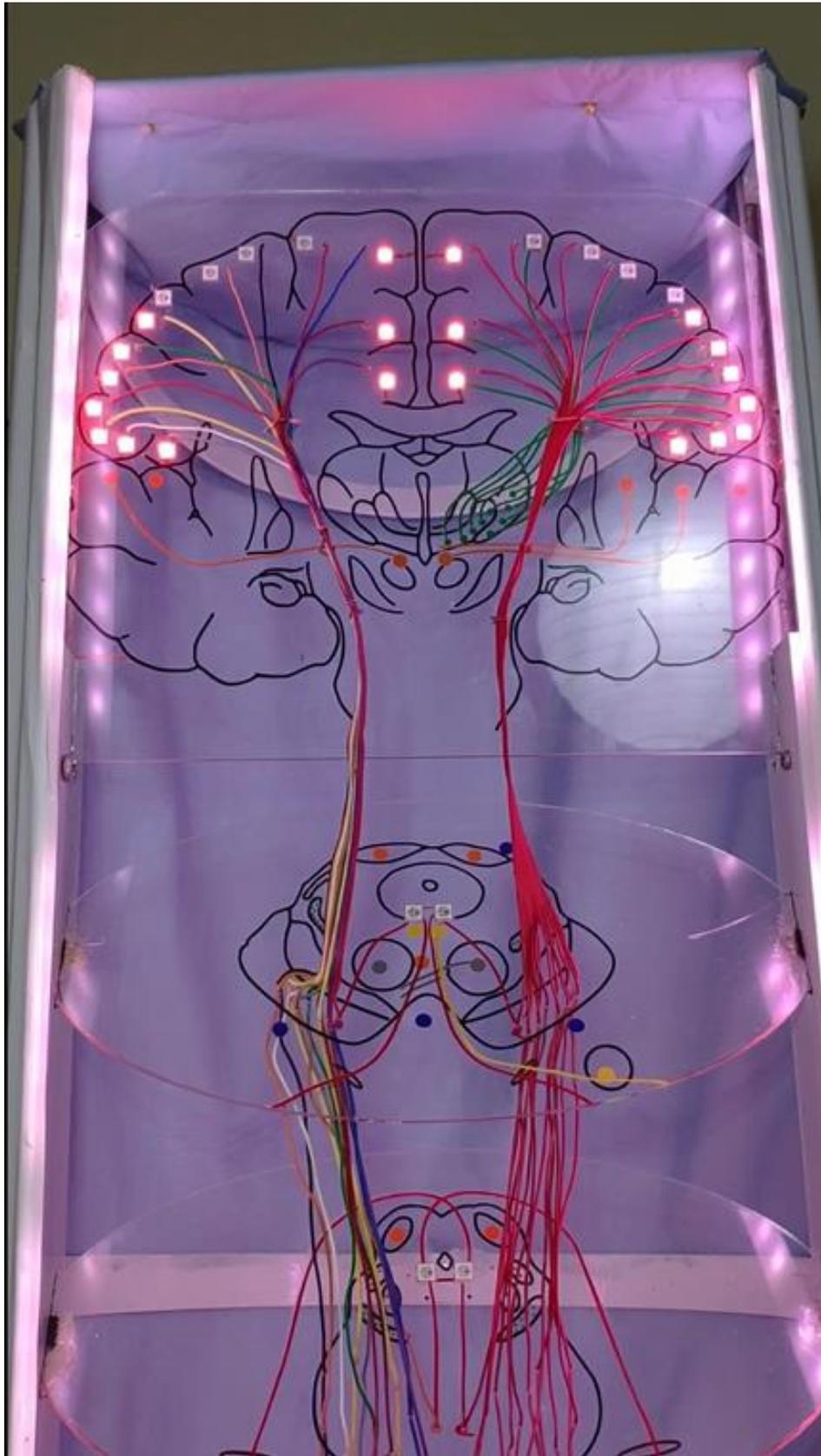


Figura 6.1.4 – Imagen de irrigación del encéfalo, perteneciente a la animación: *Irrigación*.

❑ Animación 4 - Patología: Cerebral Media

En esta cuarta animación se introduce una patología. En este caso se muestra la muerte de las neuronas ante la falta de irrigación sanguínea de la arteria cerebral media. En una primera instancia de la animación se muestra todas las neuronas que son irrigadas por esta arteria, encendiendo el led correspondiente en color rojo, como se puede observar en la Figura 6.1.5.

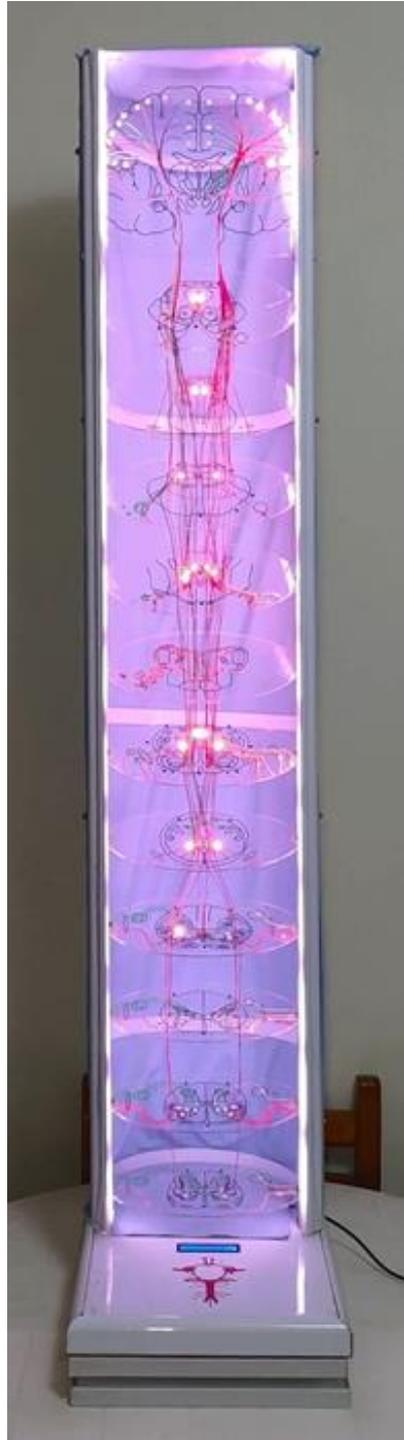


Figura 6.1.5 – Imagen de irrigación de la arteria cerebral media, perteneciente a la animación: Patología Cerebral Media.

En una segunda instancia de la animación, se observa que hay neuronas que están comenzando a sufrir daños por falta de irrigación sanguínea. Éstas, están indicadas con un color violeta, ya que la falta de oxígeno está mundialmente identificada con ese color. Esto se puede observar en la Figura 6.1.6, donde las primeras cinco neuronas encendidas comenzando desde abajo, aún les llega irrigación sanguínea, aunque no se puede decir lo mismo de las cinco neuronas superiores. Éstas últimas se encuentran ante la falta de oxigenación ya que están teniendo problemas de irrigación. En esta instancia es en la que un buen diagnóstico de la patología puede evitar posibles daños futuros.

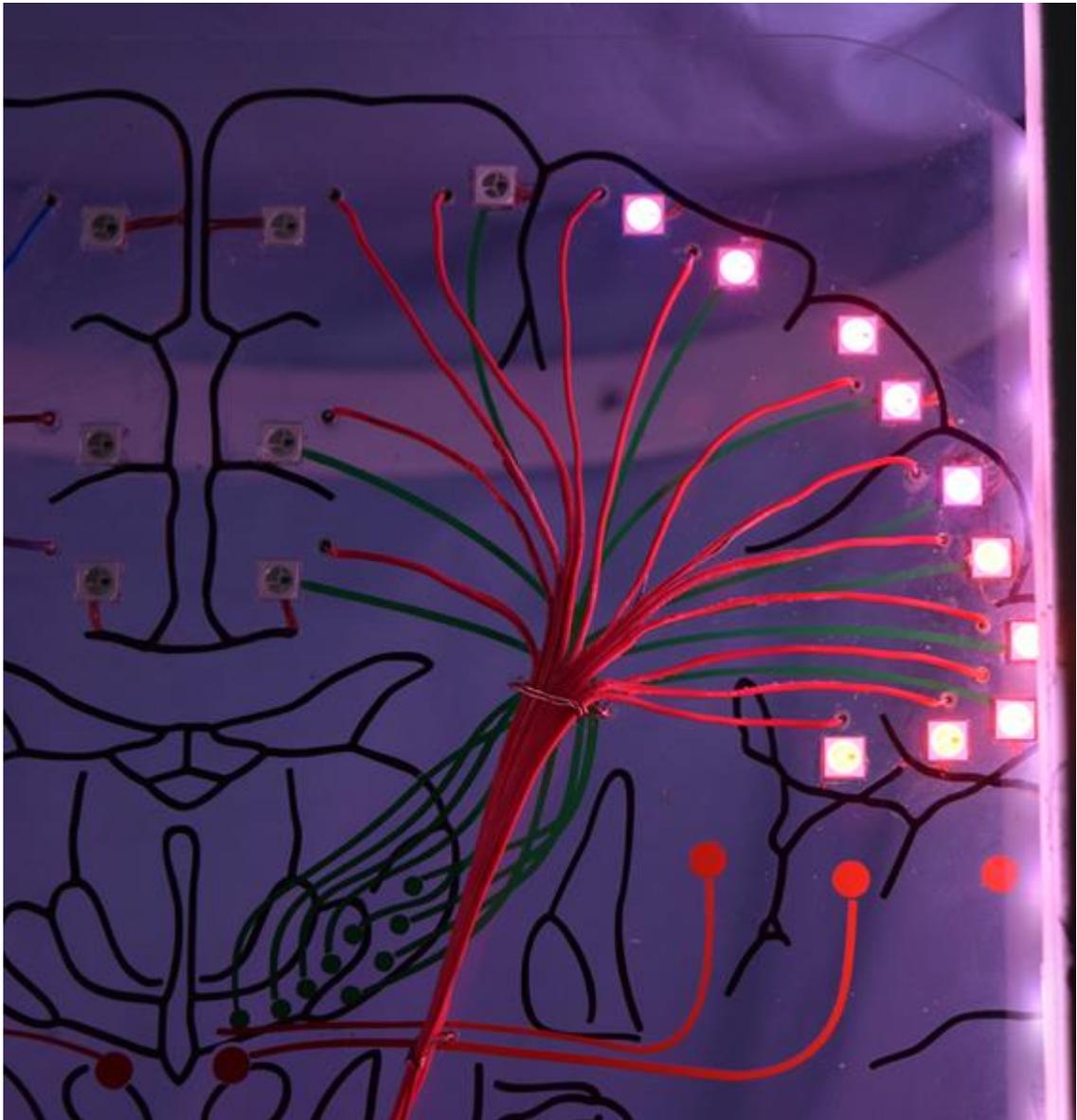


Figura 6.1.6 – Imagen de irrigación de la arteria cerebral media, con deficiencias, perteneciente a la animación: *Patología Cerebral Media*.

Si no se alcanza a diagnosticar correctamente la patología, puede llegar a ocurrir lo que se observa en la Figura 6.1.7, la muerte de las neuronas. Dicha figura muestra el último estadio de la animación. Se observa tres neuronas superiores encendidas en color azul. Esto representa la muerte por falta de oxígeno, mientras que otras pueden estar por correr con

la misma suerte si no se afronta la patología. Es importante saber que estas neuronas en color azul, médicamente, no pueden volver a tener vida.



Figura 6.1.7 – Imagen de la muerte de tres neuronas por falta de oxígeno, perteneciente a la animación: *Patología Cerebral Media*.

Como se observa en las Figuras 6.1.5, 6.1.6 y 6.1.7, se configuró a los *Neopixel* de diferentes colores, rojo, violeta y azul. De la misma forma podría mostrarse alguna otra patología que deba identificarse con un color diferente, ya que puede realizarse cualquier color que pueda formarse con la combinación RGB.

Es importante destacar las ventajas de los leds usados, ya que con otra tecnología de led serían necesarios, por ejemplo, tres leds para poder representar lo mismo, sin embargo, sería imposible que los leds estén ubicados en el mismo lugar físico. Esta es una gran ventaja de los *Neopixel*.

Para poder realizar estos cambios de colores en los *Neopixel*, es necesario utilizar parte del Código 5.1 mostrado en el Capítulo 5, en particular las sentencias que se ven a continuación:

```
// Configuro el color del led actual del color deseado
stripCentral.setPixelColor(i, stripCentral.Color(R, G, B));

// Enciendo los leds centrales, con el color previamente configurado
stripCentral.show();
```

De esta manera y utilizando la combinación de colores de RGB, pueden encenderse los leds del color deseado fácilmente.

Notar que en el cd de la tesina se podrá apreciar un video de esta animación para poder tener mayor comprensión del dinamismo del prototipo en referencia a esta patología.

❑ **Animación 5 - Patología: Cerebral Anterior**

En esta última animación se presenta otra patología, en este caso, se manifiesta a través de la arteria cerebral media. Esta última se encuentra ubicada del lado interno del encéfalo. Al igual que la animación cuatro, muestra la muerte de las neuronas por falta de oxigenación, ante una mala irrigación sanguínea.

La animación cinco tiene los mismos fundamentos que la animación cuatro, el único cambio entre ambas es la arteria en la cual se hace foco. La animación consta también de tres fases, una primera en la que la irrigación se realiza correctamente, la segunda en la que la irrigación no es la adecuada y la tercera las consecuencias que puede llegar a traer la segunda.

En la Figura 6.1.8, se muestra el *neuroeje* completo con la irrigación de la arteria cerebral anterior, siendo el primer estadio de la animación y en la cual la irrigación se realiza en forma completa y sin complicaciones.

La segunda instancia de animación se puede apreciar en la Figura 6.1.9. En dicha figura se puede observar la falta de oxígeno en las dos neuronas superiores encendidas. Las mismas, están identificadas en color violeta, como se mencionó anteriormente, color mundialmente conocido que identifica esta problemática.

Finalmente se observa en la Figura 6.1.10, como la falta de oxígeno continúa, sumándose una neurona más a las violetas y se empieza a ver una neurona muerta, identificada con el color azul. En este caso, solo queda una sola neurona encendida en color rojo, es decir, que le llega correcta irrigación.

Notar que en el cd de la tesina se podrá apreciar un video de esta animación para poder tener mayor comprensión del dinamismo del prototipo en referencia a esta patología.

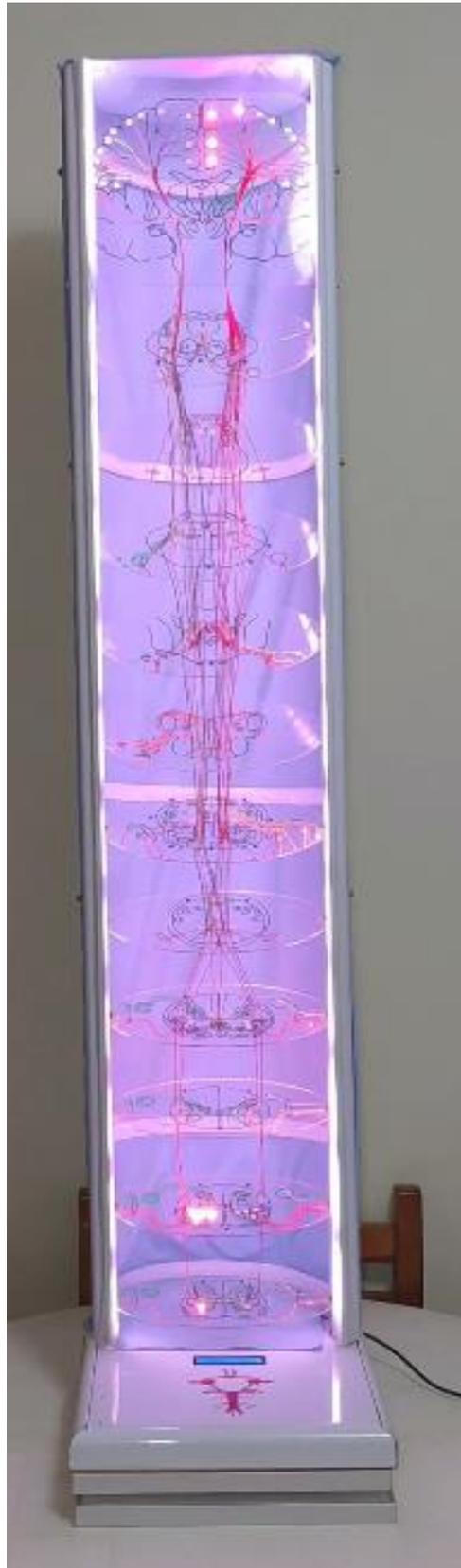


Figura 6.1.8 – Imagen de la irrigación completa del *neuroeje* por la arteria cerebral anterior, perteneciente a la animación: *Patología Cerebral Anterior*.

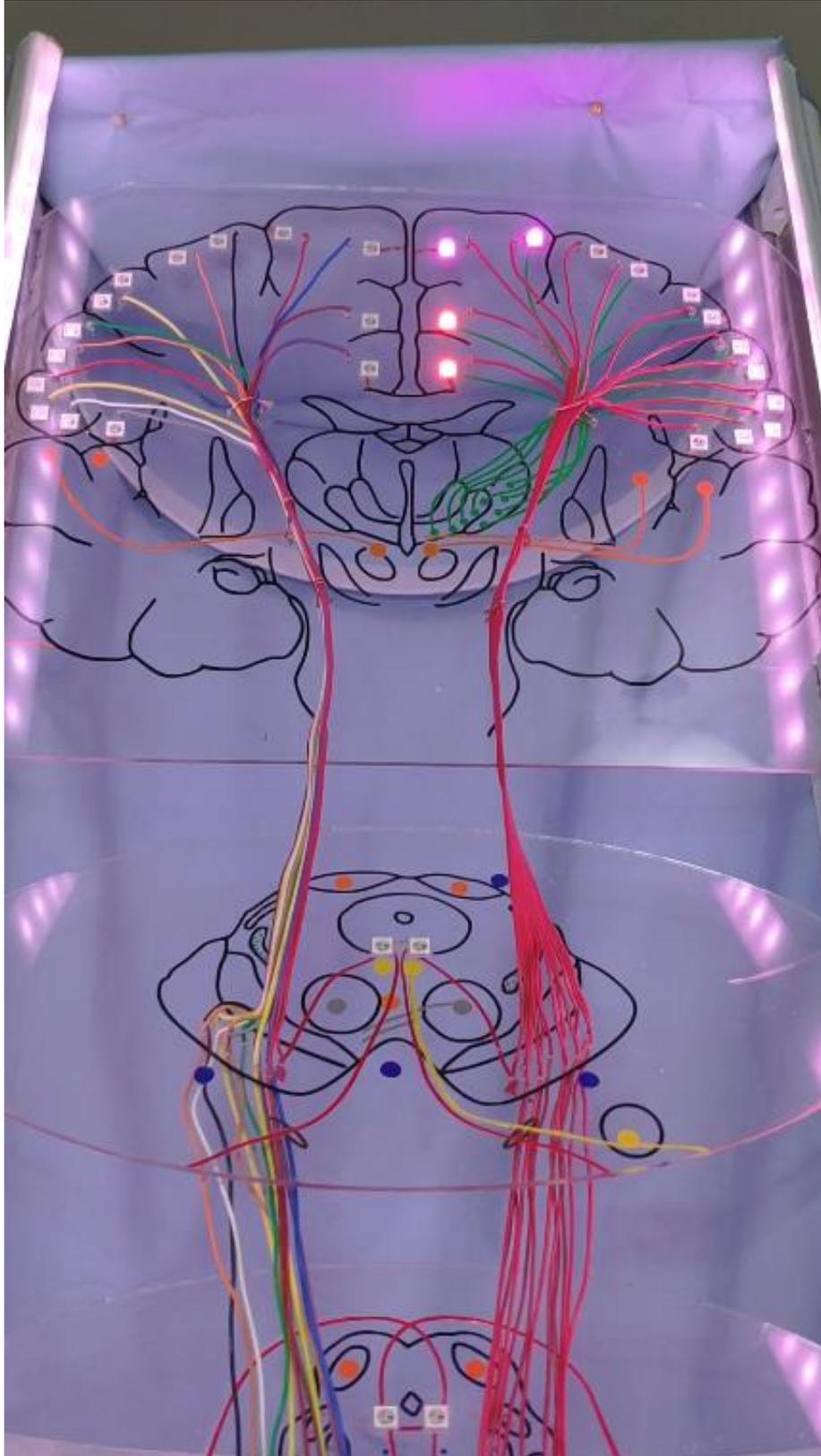


Figura 6.1.9 – Imagen de neuronas con falta de irrigación por la arteria cerebral anterior, perteneciente a la animación: Patología Cerebral Anterior.

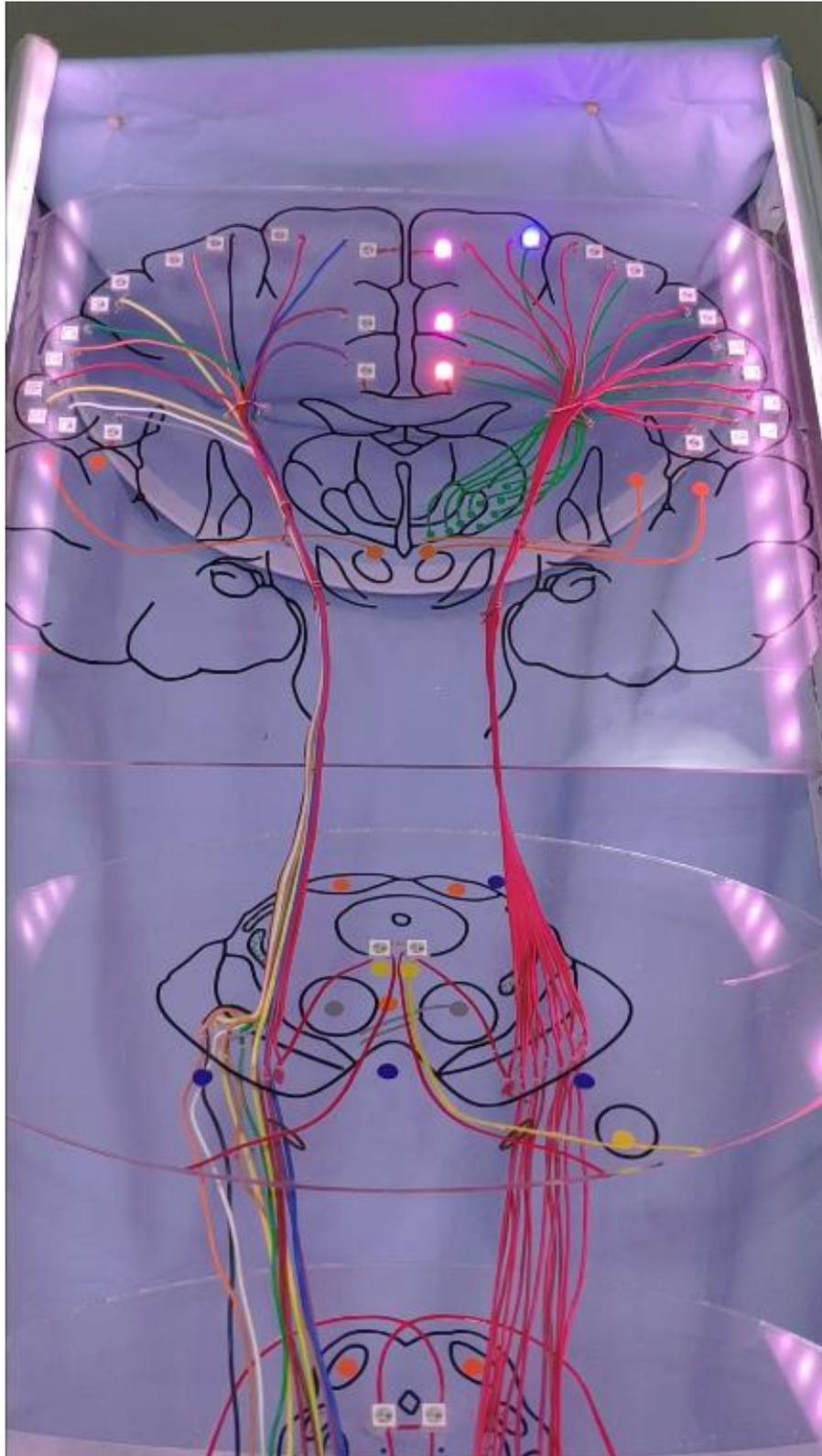


Figura 6.1.10 – Imagen de neuronas con falta de irrigación por la arteria cerebral anterior, perteneciente a la animación: *Patología Cerebral Anterior*.

6.2. Ejemplo de uso de los niveles del prototipo

Como se mencionó en el Capítulo 5, además de las animaciones, el prototipo cuenta con la posibilidad de mostrar la funcionalidad por niveles. Es decir, lo correspondiente a los cortes medulares y su relación a través de las distintas vías neuronales. Además, el prototipo muestra el *Polígono de Willis*, que permite ver que neuronas son irrigadas seleccionando una arteria del mismo. Esto es muy importante para comprender la irrigación.

En la Figura 6.2.1 se muestra que se activaron algunas de las arterias que componen el *Polígono de Willis*, mostrando los leds encendidos.

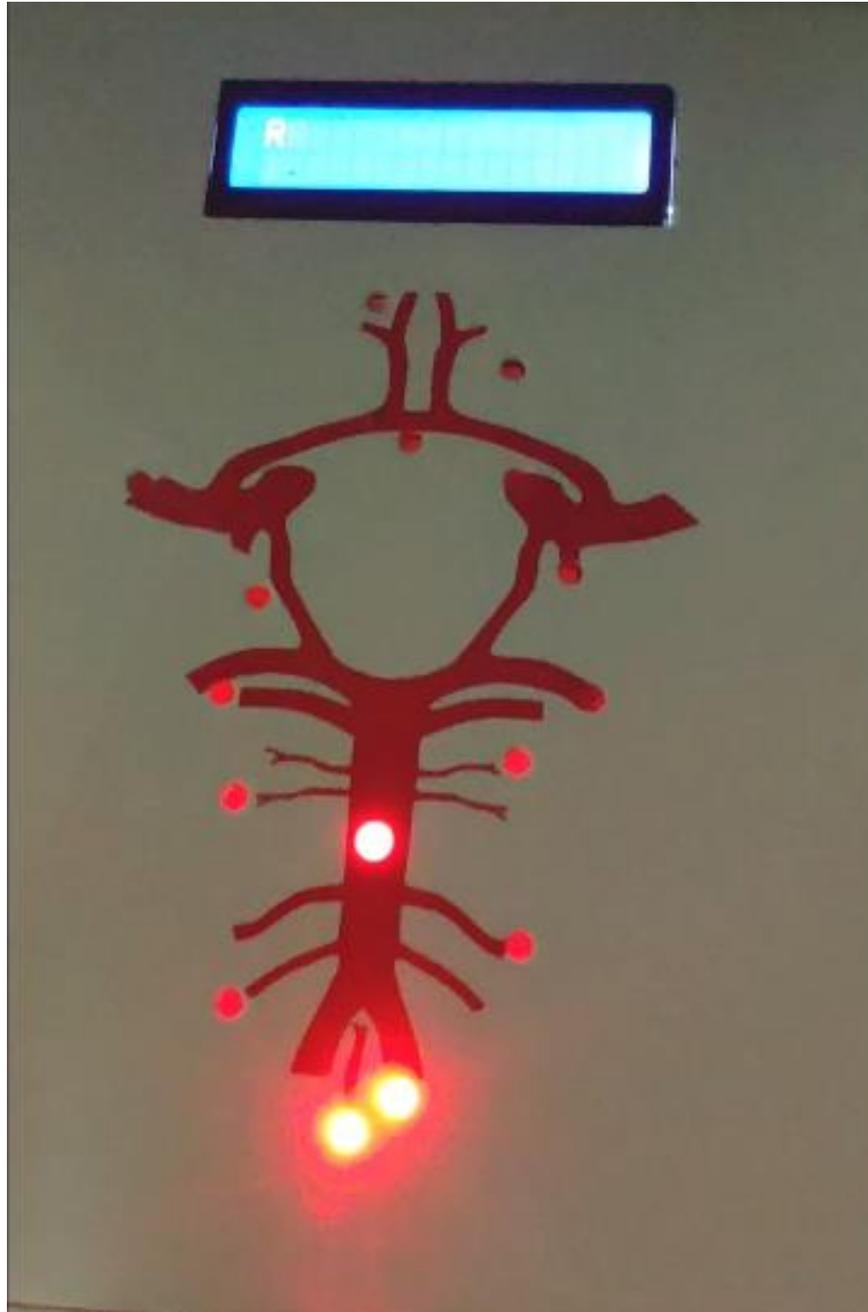


Figura 6.2.1 – Irrigación en el *Polígono de Willis*.

La activación mostrada en la Figura 6.2.1 hace que se muestre, como se mencionó anteriormente, las neuronas a las que estas arterias irriga. Mientras que en la Figura 6.2.2, se hace foco en una neurona que es irrigada por una de las arterias activadas.

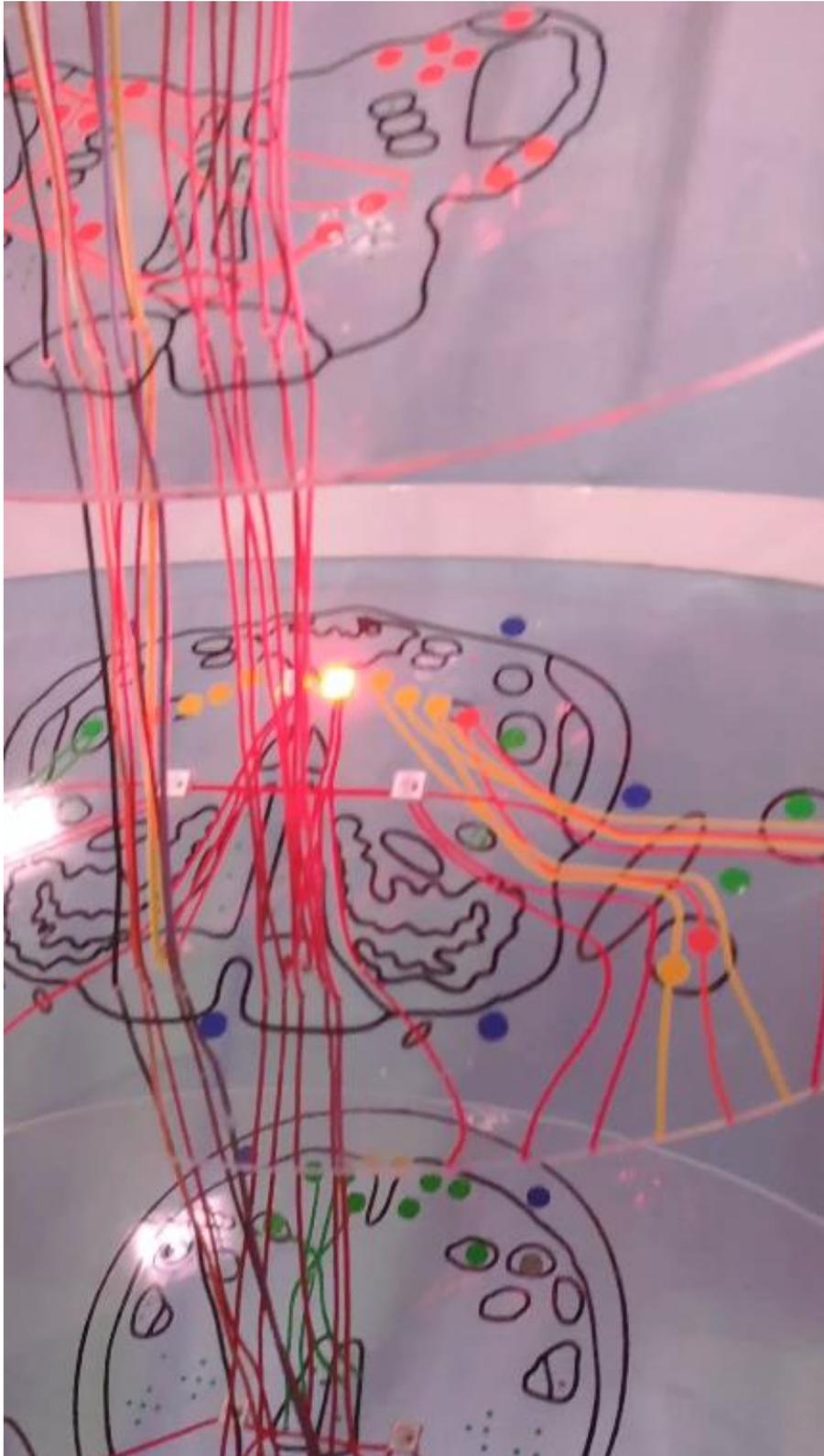


Figura 6.2.2 – Irrigación de neuronas gracias al Polígono de Willis.

Este mismo tipo de comportamientos puede verse también al activar alguna de las vías de cualquier corte de los que se encuentran en el software. Esto permite estudiar la totalidad de las vías que participan en el movimiento de cualquier extremidad. Por ejemplo, el software permite ubicarnos en el corte número siete (de abajo hacia arriba) del *Modelo de Simulación*. En particular, en este corte se encuentran algunas neuronas responsables del movimiento de los ojos y la boca.

En la Figura 6.2.3.a, se puede observar la activación en el software de la neurona responsable del movimiento de los ojos, es la vía EVG Cara Ojos. En contrapartida, la Figura 6.2.3.b, se muestra la activación de dicha neurona en el *Modelo de Simulación*. Se puede observar la misma cantidad de neuronas activadas en ambas figuras (identificadas con el círculo rojo relleno o el led encendido en rojo respectivamente). Cabe mencionar que una patología en esta neurona ocasionaría la pérdida del movimiento de los ojos o dificultades para controlar los mismos.

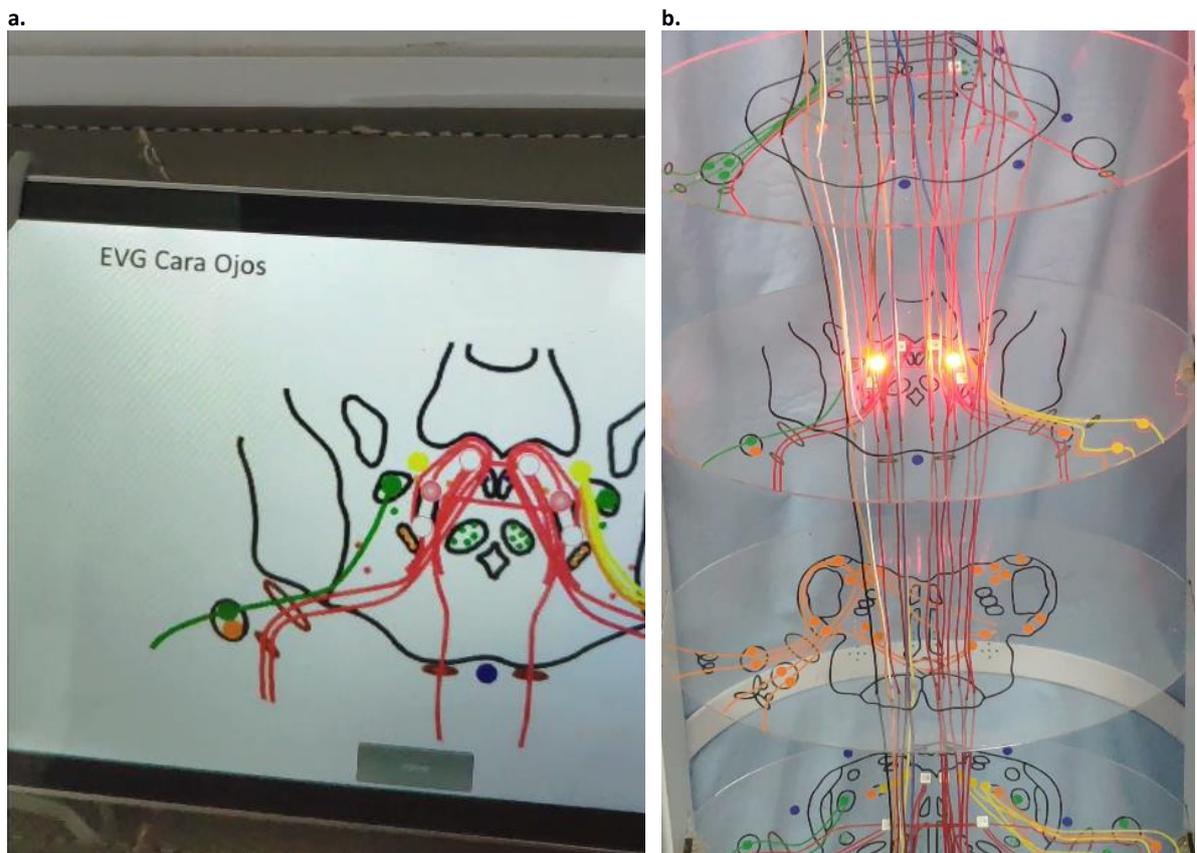


Figura 6.2.3 – Seguimiento de la vía EVG Cara Ojos, que controla el movimiento de los ojos.

Como se puede apreciar en la Figura 6.2.3.a, el software muestra la neurona que se activó junto al nombre correspondiente a la vía que la relaciona con la del encéfalo. Si en este momento se observa el nivel doce del *Modelo de Simulación*, se puede apreciar el led encendido que se relaciona con la neurona del encéfalo que envía el estímulo a la vía EVG Cara Ojo. Esto se puede observar en la Figura 6.2.4.



Figura 6.2.4 – Neurona del encéfalo que envía el estímulo a la vía EVG Cara Ojo.

A partir de las imágenes mostradas hasta el momento en esta sección, se puede apreciar que hay una gran relación con lo descrito en la Sección 6.1, en concreto con la *Animación 1 – Vía Motora 1ª y 2ª neurona*. Aquí la primera neurona es la que se observa en la Figura 6.2.4, mientras que la segunda neurona es mostrada en la Figura 6.2.3.b.

En el corte mostrado en la Figura 6.2.3 se pueden observar otras neuronas que permiten ser activadas. Por ejemplo, en la Figura 6.2.5.a, la EVG Cara Boca está siendo activada desde el software, y se ve además las que se habían activado en la Figura 6.2.3.a. En la Figura 6.2.5.b se puede apreciar la misma neurona activada en el *Modelo de Simulación*.

Se puede apreciar en la Figura 6.2.5.a que el software muestra la neurona que se acaba de activar junto al nombre correspondiente a la vía que la relaciona con la del encéfalo. Esta última se puede observar en la Figura 6.2.6, al subir al nivel doce del *Modelo de Simulación*.

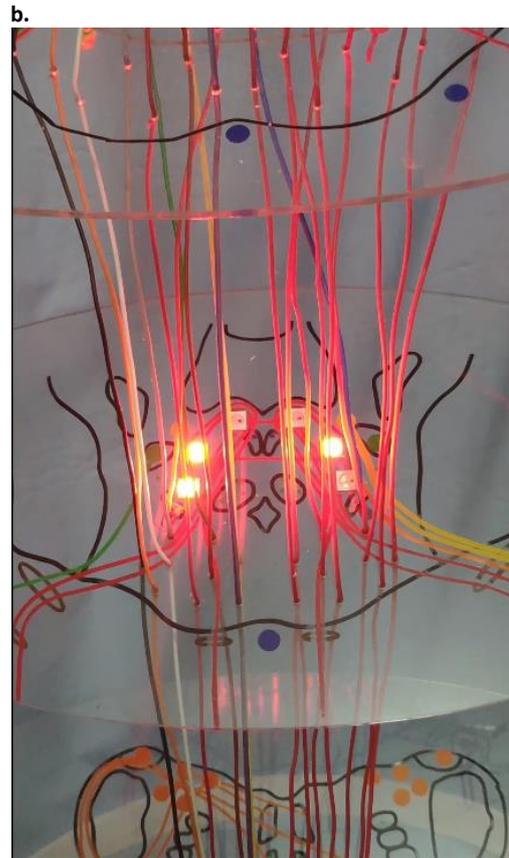
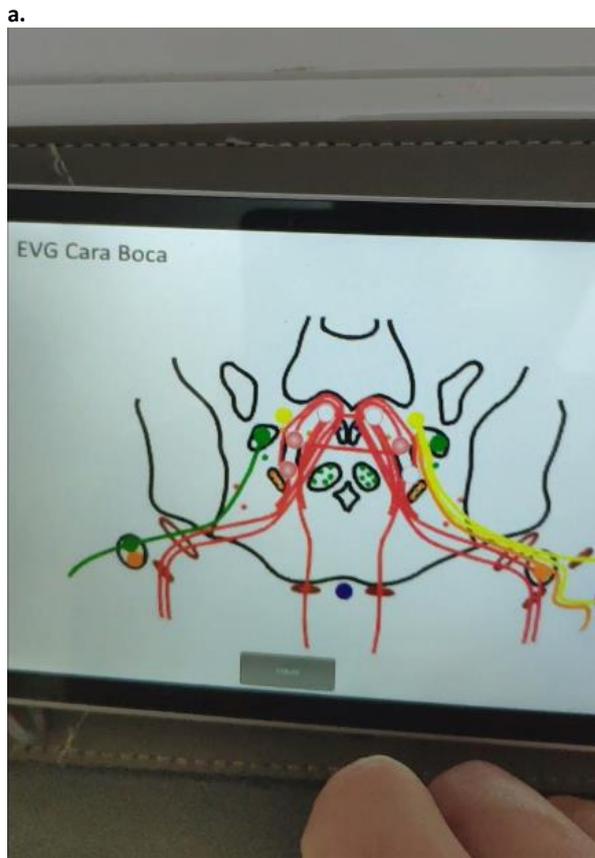


Figura 6.2.5 – Seguimiento de la vía EVG Cara Boca, que controla el movimiento de la boca.



Figura 6.2.6 – Neurona del cerebro que envía el estímulo a la vía EVG Cara Boca.

Como se puede observar en las Figuras 6.2.5 y 6.2.6 estas guardan gran relación con lo descrito en la Sección 6.1, en particular con la *Animación 1 – Vía Motora 1º y 2º neurona*. La primera neurona es la que se observa en la Figura 6.2.6, mientras que la segunda neurona es mostrada en la Figura 6.2.5.b.

Para dar una ubicación espacial al alumno, se implementó iluminación con leds blancos en ambos lados de los cortes del *Modelo de Simulación*. Por ejemplo, en la Figura 6.2.7.a se muestra el séptimo corte, desde el software se puede apreciar un botón ubicado en la parte superior derecha de la pantalla el cual permite encender los leds blancos de este nivel en el *Modelo de Simulación*. En la Figura 6.2.7.a se puede apreciar el botón en “ON” y en color verde, indicando que los leds de este nivel están encendidos. Al encenderse estos leds, en el *Modelo de Simulación* se aprecian como se muestra en la Figura 6.2.7.b.

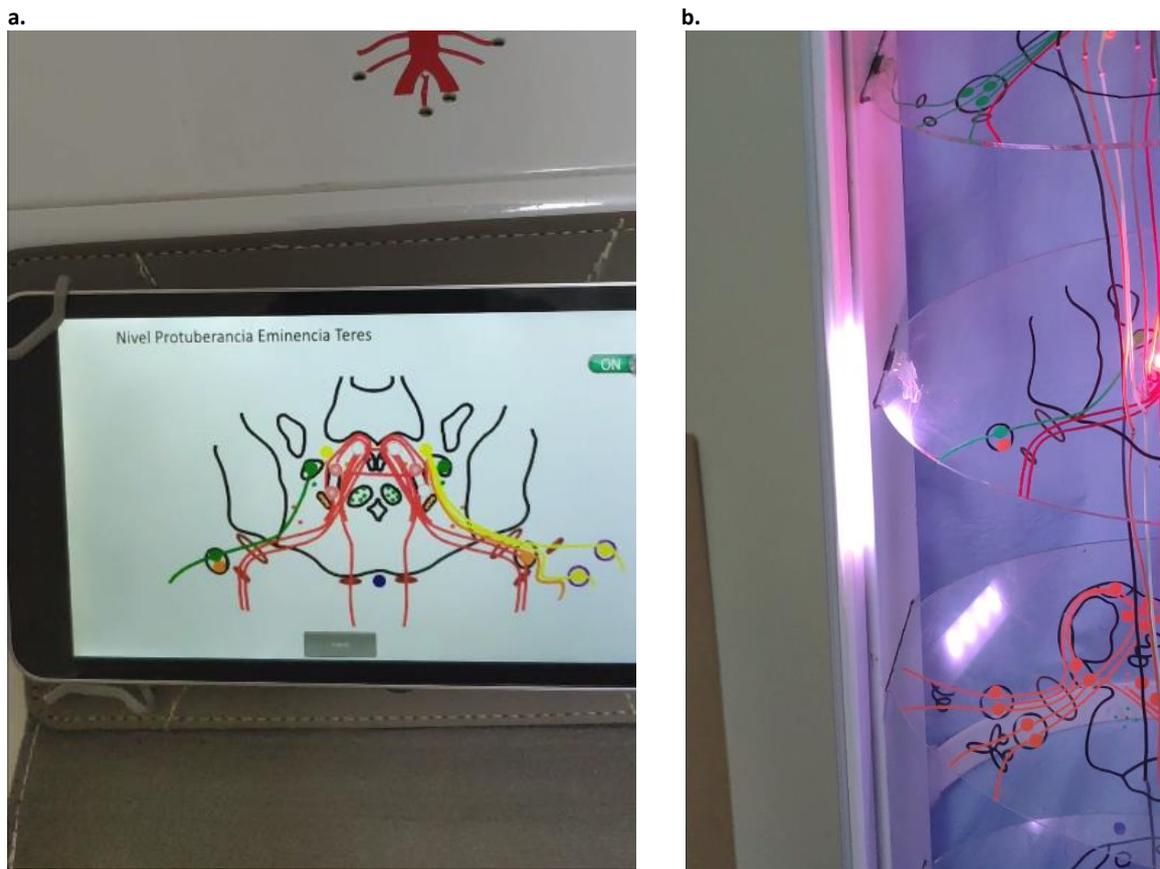


Figura 6.2.7 – Activación de la ubicación espacial del séptimo corte del neuroeje

De esta manera, se pudo apreciar cómo es la funcionalidad del *prototipo* en relación a la exploración por niveles que permite el mismo. Facilitando así la comprensión de dichos conceptos.

7. Conclusiones y Trabajos Futuros

A lo largo de esta tesina se describieron muchos de los problemas que tienen los alumnos a la hora de estudiar varios de los conceptos que se ven en la carrera de medicina. Muchos de ellos son difíciles de interpretar a través de métodos tradicionales, como por ejemplo un libro. Esto muchas veces es debido a que la forma de transmisión del conocimiento no es la adecuada.

En el Capítulo 2 se presentaron distintos modelos y simuladores que sirven para poder abordar y profundizar distintos aspectos relacionados con la medicina. Sin embargo, ninguno de estos modelos/simuladores analizados permiten reaccionar a estímulos o ver el flujo del funcionamiento del sistema nervioso. Acorde a esto, se abordó en esta tesina una posible solución, donde se buscó poder simular estímulos y poder apreciar el funcionamiento desencadenante a partir del mismo.

Algunas de las problemáticas identificadas a la hora de aprender sobre el sistema nervioso fueron mencionadas en el Capítulo 3, donde se hizo hincapié en la complejidad de las imágenes para comprender conceptos, como así también poder apreciar la irrigación a partir de imágenes. Acorde a esto, se buscó en esta tesina brindar una alternativa tecnológica, para brindar una herramienta complementaria para la enseñanza, en particular del sistema nervioso.

El *Modelo de Simulación* usado de base en esta tesina, fue pasando por diferentes etapas de evolución, como se describió en el Capítulo 4. Siempre en búsqueda de lo que especifica el Dr. Orellana, de buscar una alternativa para abordar la enseñanza del sistema nervioso. Donde se busca aprovechar los avances tecnológicos, para lograr que el alumno no solo pueda incorporar el conocimiento con mayor velocidad, sino que, además, pueda interactuar con las herramientas de estudio, haciendo a su vez la practica necesaria que le permita afianzar los conocimientos adquiridos.

El prototipo implementado en esta tesina usa el *Modelo de Simulación* descrito en el Capítulo 4, e incorpora tecnologías de última generación, como ser leds *NeoPixel* y un STM32, competidor de *Arduino* pero aún más potente, que permiten que el *prototipo* sea cien por ciento funcional.

En esta tesina, a su vez, se demostró la forma de configuración de una red Wireless a través del chip ESP8266, utilizando comandos AT y siendo enviados con el STM32, cómo encender los leds *NeoPixel* de diversos colores y finalmente como interconectar todo esto con un software realizado en *Unity*, compilado, en este caso, para una Tablet.

Gracias a estas tecnologías se pudo abordar un prototipo que da una posible solución a las problemáticas citadas en el Capítulo 3, permitiendo realizar extensiones a futuro y que pueda resolver otro tipo de problemáticas.

Además, se mostraron distintos ejemplos de uso del prototipo en el Capítulo 6, dado que el dinamismo es difícil de expresar con imágenes se provee, en el cd de esta tesina, videos para clarificar al lector sobre la comprensión del funcionamiento del prototipo implementado.

Si bien el prototipo presentado en esta tesina cubre algunas áreas, acorde a la problemática a la que se buscaba dar solución en base a lo descrito en el Capítulo 3, el mismo puede tener varios puntos de extensión a futuro, algunos de estos son descriptos a continuación, dividiendo los mismos en diferentes categorías.

➤ *Polígono de Willis en 3D*

El *Polígono de Willis*, como se especificó con anterioridad, irriga con sangre al cerebro en forma completa, siendo de vital importancia. Por ello, se podría contar con un modelo diseñado e impreso en 3D a escala real, logrando a futuro una interconexión inalámbrica entre este modelo del *Polígono de Willis* y el *Modelo de Simulación*, de forma que, ambos estén sincronizados.

De esta manera, el software del prototipo no solo realizaría el envío de datos al *Modelo de Simulación* sino también debería sincronizarse con el *Polígono de Willis*. Si bien una solución podría ser que se sincronicen a través del *prototipo*, podría plantearse también que funcionen entre ellos sin necesidad del *prototipo*.

➤ *Adición de otras Vías*

Otra extensión posible es la adición del resto de las vías, como se mostraron en los prototipos anteriores descritos en el Capítulo 4. Permitiendo no solo sumar vías en el *Modelo de Simulación*, sino que, además, deberán ser controladas desde el software del prototipo, debiendo a su vez, encender los leds *NeoPixel* de los colores representativos de cada vía. Esto requiere a su vez, la reprogramación y extensión del STM32.

➤ *Maniquí de extensión*

Una opción de extensión con mayor complejidad es la creación de un maniquí del cuerpo humano a escala 1:1, que permita conectarse con el software del *prototipo*. Este maniquí hará las veces de emisor de los estímulos hacia el *prototipo*. De esta manera, un alumno puede, con algún tipo de puntero, ir tocando el maniquí el cual irá activando las vías correspondientes en el prototipo.

Cabe aclarar que, en este caso, el *Modelo de Simulación* evolucionaría a un maniquí de escala real, teniendo la complejidad de ver como representar cada nivel del *neroeje* de manera más compleja que simples imágenes representativas.

➤ *Diseño de un software en 3D*

Otro posible trabajo futuro, podría implicar realizar un software que permita navegar a través del cuerpo humano mostrando las distintas vías más importantes que lo componen, permitiendo a su vez realizar algún tipo de estímulo para ver como recorre éste a través del cuerpo humano, y a su vez, ver la reacción al mismo. Esto implicaría, por ejemplo, una digitalización en 3D del cuerpo humano.

➤ *Analizar opiniones de los alumnos*

Es importante analizar qué le pasa al alumno con este tipo de prototipos para poder así mejorar el mismo, por ahí sin tener que tender a soluciones tan complejas como un maniquí a escala o un software 3D. Para esto, sería interesante poder evaluar grupos de alumnos que aprendan con el prototipo versus otros que aprendan sin el mismo para poder determinar las reales ventajas del uso del mismo. Más allá de los comentarios que ha recibido el Dr. Orellana en las distintas evoluciones del prototipo, las cuales se presentaron en el Capítulo 4.

Estos son algunos trabajos futuros que se podrían realizar en diferentes líneas, ya sea mejorando el software del prototipo como el *Modelo de Simulación* del mismo, tendiendo a que el alumno puede contar con mayor realismo, y ayudarlo así a un mejor entendimiento del funcionamiento en particular del sistema nervioso.

Cabe aclarar que habría otros trabajos futuros que podría ser abordar otras temáticas relacionadas a la enseñanza en medicina que vayan más allá del sistema nervioso.

Bibliografía

- [Borjas] Borjas, A.D. Tejido Nervioso. http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/histologia/nervioso_1.pdf
- [Cooper and Taqueti, 2004] Cooper, J.B., & Taqueti, V.R. (2004). A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training. *BMJ Quality & Safety*, 13(suppl 1), i11-i18.
- [Crossman & Neary, 2007] Crossman, A.R., & Neary, D. (2007). *Neuroanatomy E-Book: An Illustrated Colour Text*. Elsevier Health Sciences.
- [Cuadrado et al, 2001] Cuadrado, M. L., Arias, J. A., Palomar, M. A., & Linares, R. (2001). La vía piramidal: nuevas trayectorias. *Rev Neurol*, 32(12), 1151-8.
- [Dávila-Cervantes, 2014] Dávila-Cervantes, A. (2014). Simulación en educación médica. *Investigación en educación médica*, 3(10), 100-105.
- [Giraldo, 2006] Giraldo, C.A.G. (2006). La encefalopatía hipóxico isquémica: una aproximación medicolegal. *Revista CES Medicina*, 20(1), 77-87.
- [Salas and Ardanza, 1995] Salas Perea, R.S., & Ardanza Zulueta, P. (1995). La simulación como método de enseñanza y aprendizaje. *Educación Médica Superior*, 9(1), 3-4.
- [Gaba and DeAnda, 1988] Gaba, D.M., & DeAnda, A. (1988). A comprehensive anesthesia simulation environment: re-creating the operating room for research and training. *Anesthesiology*, 69(3), 387-394.
- [Khanduri and Rattan, 2013] Khanduri, R., & Rattan, S.S. (2013). Performance Comparison Analysis between IEEE 802.11 a/b/g/n Standards. *International Journal of Computer Applications*, 78(1), 13-20.
- [Lehembre, 2006] Lehembre, G. (2006). Seguridad Wi-Fi–WEP, WPA y WPA2.
- [Lion, 2005] Lion, C. (2005). Los simuladores. Su potencial para la enseñanza universitaria. *Cuadernos de Investigación Educativa*, 2(12), 53-66.
- [MacKenzie et al, 1970] MacKenzie, N., Erout M., Jones H.C. (1970). *Teaching and Learning. An Introduction to New Methods and Resources in Higher Education*.
- [Martínez, 2007] Conceptos anatomo - funcionales de la medula: http://neurologiauruguay.org/home/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=164 (Último acceso: 22-8-2018)
- [Merck et al, 1899] Merck & Co, & Merck Sharp & Dohme. (1899). *The Merck manual of diagnosis and therapy*. Merck.
- [Micheli and Pardal, 2010] Micheli, F.E., & Pardal, M.M.F. (2010). *Neurología*. Ed. Médica Panamericana.
- [Moore and Dalley, 2009] Moore, K.L., & Dalley, A.F. (2009). *Anatomía con orientación clínica*. Ed. Médica Panamericana.
- [Navarro and González, 2017] Navarro, R.L., & González, G.P. (2017). Propedéutica clínica y semiología médica. Tomo II. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 36(2).
- [Netter, 2008] Netter, F.H. (2008). *Netter-Atlas de anatomía humana*. Elsevier Brasil.
- [Noguera and Colaboradores, 2016] Noguera M.A. y colaboradores (2016) *Pares Craneales y Órganos de los Sentidos*.
- [Sánchez-Mendiola et al, 2014] Sánchez-Mendiola, M., Martínez-Franco, A., & Alayola-Sansores, A. (2014). *Informática biomédica*. Editorial: ELSEVIER ISBN, 978-607.
- [Tarifa, 2001] Tarifa, E.E. (2001). *Teoría de modelos y simulación*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Jujuy.
- [ZEUS] Marescaux, J., & Rubino, F. (2003). The ZEUS robotic system: experimental and clinical applications. *Surgical Clinics*, 83(6), 1305-1315.

Bibliografía – URL consultadas

- [3BScientific] Página de *3B Scientific*: www.3bscientific.com (Último acceso: 22-8-2018)
- [3BScientific-SN] Página de *3B Scientific* sobre el sistema nervioso: www.3bscientific.com/el-sistema-nervioso-12-de-su-tamano-natural-1000231-c30-3b-scientific,p_47_248.html (Último acceso: 22-8-2018)
- [3BScientific-ME] Página de *3B Scientific* sobre la medula espinal: https://www.3bscientific.com/medula-espinal-con-terminaciones-nerviosas-1000238-c41-3b-scientific,p_47_255.html (Último acceso: 22-8-2018)
- [Adafruit-Neopixel-Library] Página librería de *Adafruit-Neopixel*: learn.adafruit.com/adafruit-neopixel-uberguide/arduino-library-use (Último acceso: 22-8-2018)
- [Amexcorporate]Página de Amexcorporate: [Amexcorporate] www.amexcorporate.com.ar/multitaskers/nota.php?id=759&cat=4 (Último acceso: 22-8-2018)
- [Arduino] Página de *Arduino*: www.arduino.cc/en/Guide/Introduction (Último acceso: 22-8-2018)
- [Arduino.CL] Página de *Arduino* chile: www.arduino.cl/que-es-arduino (Último acceso: 22-8-2018)
- [Arduino-FAQ] Página de FAQ *sobre Arduino*: www.arduino.cc/en/Main/FAQ (Último acceso: 22-8-2018)
- [Arduino-IDE] Página de la IDE de *Arduino*: www.arduino.cc/en/Main/Software(Último acceso: 22-8-2018)
- [Arduino-Libraries] Página de librerías de *Arduino*: www.arduino.cc/en/Guide/Libraries (Último acceso: 22-8-2018)
- [Asus] Página de ASUS: www.asus.com/us/Networking/USBAC56 (Último acceso: 22-8-2018)
- [Balun] Página del *Microstrip balun-antenna*: patents.google.com/patent/US4847626A/en (Último acceso: 22-8-2018)
- [Diccionario-Medico] Página del *diccionario medico*: www.cun.es (Último acceso: 22-8-2018)
- [Eclipse-For-Arduino] Página de *Eclipse para Arduino*: www.eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2017/april/article4.php (Último acceso: 22-8-2018)
- [Edlut] Página de *EDLUT*: www.code.google.com/archive/p/edlut (Último acceso: 22-8-2018)
- [Edlut-Presentación] Página de presentación de *EDULT*: storage.googleapis.com/google-code-archive-downloads/v2/code.google.com/edlut/EDLUT_presentation.pdf (Último acceso: 22-8-2018)
- [ecocuyo] Página de *ecocuyo*: www.ecocuyo.com/desarrollaron-en-mendoza-un-simulador-portatil-de-intervenciones-quirurgicas (Último acceso: 22-8-2018)
- [Enciclopedia-de-la-salud] Página de *Enciclopedia de la salud*: www.encyclopediasalud.com/definiciones (Último acceso: 22-8-2018)
- [ESP8266] Página de especificación de ESP8266: www.kloppenborg.net/images/blog/esp8266/esp8266-esp12e-specs.pdf (Último acceso: 22-8-2018)
- [ESP8266-at-commands] Página de comandos de ESP8266: www.makerfabs.com/desfile/files/esp8266_at_instruction_set_en.pdf (Último acceso: 22-8-2018)
- [Espressif] Página de *Espressif*: www.espressif.com (Último acceso: 22-8-2018)

- [Fastled-Library] Página de la librería *Fastled*: www.norwegiancreations.com/2018/01/programming-digital-rgb-led-strips-with-arduino-and-the-fastled-library (Último acceso: 22-8-2018)
- [Fastled-vs-Adafruit-Neopixel] Página de comparación de *Fastled* y *Adafruit-Neopixel*: www.partsnotincluded.com/neopixels/fastled-vs-adafruit_neopixel (Último acceso: 22-8-2018)
- [INNOVAR-2018] Página de INNOVAR 2008: issuu.com/innovar/docs/cat_logo_innovar_2008/34 (Último acceso: 22-8-2018)
- [Java] Página de *JAVA*: www.oracle.com/technetwork/java/index.html (Último acceso: 22-8-2018)
- [Laerdal] Página de *Laerdal*: www.laerdal.com/la/products/simulation-training/emergency-care-trauma/resusci-anne-simulator (Último acceso: 22-8-2018)
- [LNA] Página de *LNA*: patents.google.com/patent/US7804361B2/en (Último acceso: 22-8-2018)
- [MarkKriegsmanProfile] Perfil de *Mark Kriegs*: plus.google.com/112916219338292742137/posts/6AUgfAKWVs5 (Último acceso: 22-8-2018)
- [MIRAI3D] Página de *MIRAI3D*: www.modelosmedicos.com/simuladores (Último acceso: 22-8-2018)
- [MonoDevelop] Página de *MonoDevelop*: www.monodevelop.com (Último acceso: 22-8-2018)
- [MPV] Página de *Mínimo Producto Viable* (MPV): www.scrummanager.net/bok/index.php?title=Mínimo_Producto_Viable (Último acceso: 22-8-2018)
- [Neopixel] Página de *Neopixel*: learn.adafruit.com/adafruit-neopixel-uberguide/the-magic-of-neopixels (Último acceso: 22-8-2018)
- [One-Wire] Página de *One-Wire*: www.mcuoneclipse.com/2014/07/13/first-adafruit-neopixel-blinks-with-the-frdm-board (Último acceso: 22-8-2018)
- [PoligonoWills] Página de *Polígono de Wills*: www.medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/18009.htm (Último acceso: 22-8-2018)
- [RaspberryPi] Página de *RaspberryPi*: www.raspberrypi.org (Último acceso: 22-8-2018)
- [Riot] Página de *Riot*: www.riot-os.org (Último acceso: 22-8-2018)
- [Sensus3D] Página de *Sensus3D*: www.sensus3d.com (Último acceso: 22-8-2018)
- [SimOne] Página de *SimOne*: www.cyberneticzoo.com/robots/1967-sim-one-denson-abrahamson-american (Último acceso: 22-8-2018)
- [Sinaptics] Página de *Sinaptics*: www.sinaptics.com.ar (Último acceso: 22-8-2018)
- [SINC] Página del simulador del *SINC*: www.agenciasinc.es/Noticias/Un-simulador-artificial-del-sistema-nervioso-humano-permitira-investigar-enfermedades (Último acceso: 22-8-2018)
- [SOMSO] Página de *SOMSO*: www.somso.de/es/somso (Último acceso: 22-8-2018)
- [SOMSO-SNH] Página de *SOMSO* sobre el S.N.H.: <https://www.somso.de/es/anatomie/anatomia-general/vias-de-cunduccion/sistema-nervioso> (Último acceso: 22-8-2018)
- [STM32] Página de *STM32*: www.st.com/en/microcontrollers/stm32f103c8.html (Último acceso: 22-8-2018)
- [STM32-IDE-Forum] Página del foro de la IDE de *STM32*: www.stm32duino.com/viewforum.php?f=41 (Último acceso: 22-8-2018)
- [TaskScheduler] Página de *TaskScheduler*: www.playground.arduino.cc/Code/TaskScheduler (Último acceso: 22-8-2018)
- [TR-Switch] Página de *TR-Switch*: www.futureelectronics.com/en/wireless-rf-radio-frequency/t-r-rf-switches.aspx (Último acceso: 22-8-2018)

[Unity] Página de *Unity*: unity3d.com/es/unity (Último acceso: 22-8-2018)

[Unity-Multiplataforma] Plataformas de desarrollo *Unity*: unity3d.com/es/unity/features/multiplatform (Último acceso: 22-8-2018)

[Unity-Scripts] Página de scripts *Unity*: docs.unity3d.com/es/current/Manual/CreatingAndUsingScripts.html (Último acceso: 22-8-2018)

[UNLP] Página de la UNLP: www.unlp.edu.ar

[Visual-Studio-Code-For-Arduino] Página del código de Arduino para Visual Studio: marketplace.visualstudio.com/items?itemName=vsciot-vscode.vscode-arduino

Anexo A: Entrevistas realizadas con el Dr. Orellana

En este anexo se presentan las preguntas realizadas al Dr. Fernando Manuel Orellana en distintas entrevistas. Se ha transcripto solo un resumen de las respuestas haciendo foco en aquellos detalles relevantes para el objetivo de esta tesina.

Cabe mencionar que Dr. Orellana es médico especialista en emergentología, jefe de guardia y del área de simulación del *Hospital San Juan de Dios*. Además, Dr. Orellana fue docente de la cátedra de *Anatomía* de la facultad de *Ciencias Médicas* de la *Universidad Nacional de La Plata* entre los años 1998 y 2005. Cabe mencionar que a partir de su experiencia áulica, pudo observar algunas dificultades por parte de los alumnos a la hora de estudiar los conceptos relacionados con el *Sistema Nervioso Humano* (en adelante S.N.H.).

A continuación, se presentan las preguntas con un resumen de las respuestas brindadas por el Dr. Orellana.

❑ **¿Cuándo y por qué surgió la idea de un Simulador del Sistema Nervioso?**

“...Cuando yo era alumno de la carrera de Medicina en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de La Plata, tenía que rendir mi última materia y justamente era Neurología. Estaba en una situación crítica, en la que si aprobaba me recibía de médico, sino tenía que recursar la materia. Al estudiarla, me di cuenta de que algo andaba mal. No era la metodología de estudio, ya que por algún motivo llegué a esta instancia, sino que sentía que era por otra cosa. Llegué a la conclusión que la forma en la que estaba utilizando los materiales de estudio no me estaban resultando...”

“...Lo que figura en los libros me daban la idea de que había muchos cortes del neuroeje, pero no me daban una ubicación espacial y de profundidad. Me di cuenta entonces, que podía resumir muchos de estos cortes en unos pocos y a su vez interrelacionarlos con las vías que tenía que estudiar...”

“...Gracias a esta nueva forma de ver el neuroeje, pude dar esta última materia sin problemas, lo que me llevó a pensar que esta nueva forma de estudiarlo, podía ayudar a muchos a entenderlo desde otro punto de vista...”

❑ **¿Entre qué años y en qué facultad fue docente? ¿Qué lo llevó a serlo?**

“...Fui ayudante diplomado Ad Honorem de la materia de Anatomía en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de La Plata, entre los años 1998 y 2005...”

“...Aproximadamente en el año 1997, el Dr. Ricardo Langar, titular en aquel momento de la cátedra A de Anatomía, decide hacer un relevamiento en las cátedras que tenían alguna afinidad con la neuroanatomía, sobre del estado de conocimiento que tenían los alumnos sobre la materia. De las cátedras que respondieron, se llegó a la conclusión que los contenidos no eran suficientes... Se le pide por esto, colaboración a quien por ese entonces era el Jefe de Trabajos Prácticos de la cátedra A de Anatomía, el Dr. Jorge Lambre, quien decide hacer una cursada de neuroanatomía paralela con el beneficio de promoción. Esta modalidad se implementó entre los años 2000 y 2005...”

“...Con el inicio de esta nueva modalidad, el Dr. Jorge Lambre me propuso utilizar el prototipo (nueva forma de ver el neroeje) en la cursada. El nivel de repercusión que tuvimos fue espectacular. Tal es así, que durante esos cinco años que duró esta modalidad, promocionaron más del 80% de los alumnos que la cursaron. Este resultado, nos dio la pauta que esta nueva modalidad estaba funcionando mejor que en otras cátedras...”

❑ **¿Con qué dificultades se encontró por parte de los alumnos a la hora de estudiar los conceptos relacionados al Sistema Nervioso Humano?**

“...En los años que fui docente, noté que los alumnos consultaban continuamente conceptos similares. Particularmente, confirmamos que los alumnos no interpretaban correctamente las gráficas de los libros y preparados que se utilizaban en ese momento. También entra en juego la cantidad de horas que se dictaba a la parte de neuroanatomía. Eran insuficientes para la cantidad de información a transmitir...”

“...Como adicional, la cantidad de docentes era muy acotada para la gran cantidad de alumnos que había, lo que llevaba a que la relación docente-alumno sea muy pobre. Entonces, la cantidad de horas que debía invertir el alumno era demasiada, lo que lleva a una fatiga intelectual...”

❑ **¿Qué inconvenientes trae el hecho de no adquirir los conceptos básicos del Sistema Nervioso Humano?**

“...Los alumnos a lo largo de la carrera de Medicina van adquiriendo información de distintos aspectos del S.N.H. En un principio, incorporan información acerca del aspecto macroscópico del sistema (anatomía). Posteriormente, se profundiza en las estructuras microscópicas del mismo (histología y embriología). Al año siguiente, se suma la descripción de la función de las distintas partes (fisiología). Finalmente, en años más avanzados, en materias como semiología, clínica y neurología, se toma información del funcionamiento, diagnóstico y tratamiento del S.N.H...”

“...Más allá de que los alumnos van adquiriendo toda esta información a lo largo de la carrera, ésta sólo se convierte en un conocimiento comprensivo y práctico del funcionamiento del S.N.H. como un todo, al poder integrar toda la información adquirida en las últimas asignaturas de la carrera. Es por esto, que es de suma importancia comprender los conceptos básicos desde las primeras materias, ya que un conocimiento mal aprendido será propagado a través de las materias subsiguientes...”

❑ **¿Cuáles son los problemas que tienen los métodos tradicionales de enseñanza?**

“...Como mencioné antes, los alumnos tenían complicaciones al interpretar imágenes y conceptos de los libros y preparados anatómicos...”

“... Por otro lado, es interesante tener en cuenta que muchas veces el profesor que dicta una clase, resulta ser una eminencia en el tema. La clase impartida resulta siendo exquisita. Sin embargo, el alumno muchas veces no termina comprendiendo la totalidad de los conceptos, debido, generalmente, a la falta de conocimiento previo o porque no logra afianzar los conceptos, de manera que no termina internalizando los mismos... Por lo tanto, no depende

muchas veces de las formas de impartir la clase, sino de los complementos que se puedan utilizar para ayudar al alumno a afianzar estos conceptos...”

❑ **¿Cómo se llegó a la división del Modelo de Simulación en 12 cortes?**

“...Era necesario para integrar el concepto de neuroeje, que el alumno lo pueda apreciar en un solo golpe de vista, y así tener una continuidad entre el encéfalo y la médula. Permitiendo que pueda seguir visualmente el recorrido completo de la vía, en este caso la motora, desde el encéfalo hasta cada uno de los niveles donde se encuentra las segundas neuronas...”

“...Necesitaba tener cortes representativos de cada uno de los segmentos del neuroeje. Por eso, se consideró dos cortes mesencefálicos, tres cortes protuberanciales, dos cortes bulbares (que contiene los orígenes reales y aparentes de los pares craneanos) y cuatro cortes medulares (cervical, torácico, lumbar y sacro)...”

“...De esta manera, con estos 12 cortes, se pueden apreciar el modelo en su totalidad, a una distancia de 1,5 mtrs sin ninguna dificultad, ya que fueron ubicados a una angulación adecuada. Esta angulación fue a su vez una limitante, ya que sumar mayor cantidad de cortes implicaba más angulación, con lo que restaba visual...”

❑ **¿Cómo se le ocurrió realizar el simulador?**

“...No sabía que estaba realizando un simulador. En un principio estaba realizando un modelo para autoaprendizaje. De a poco y con el pasar del tiempo y la integración de distintos conocimientos se fue sofisticando...”

“...Después de sucesivas etapas de sofisticación y estudio llegamos a una primera versión, que reúne las características para ser considerado un simulador...”

❑ **¿Cuáles son los colores que conforman las vías del prototipo y que significan?**

“...Fue necesario identificar las diferentes vías según la función que cumplen. Para esto, nos valemos de los colores para representar dichas funciones. Correspondiendo la siguiente nomenclatura:

- **Color Rojo:** *Son las vías eferentes del neuroeje, es decir, aquellas que muestran cómo y por dónde responde el encéfalo ante una respuesta a un estímulo.*
- **Color Verde:** *Son las vías aferentes del neuroeje, es decir, aquellas que son de ingreso de estímulos hacia el S.N.H., avanzando del estímulo a través de la médula espinal hasta llegar al encéfalo.*
- **Color Amarillo:** *Son las vías viscerales, es decir, aquellos estímulos que van y vienen desde los órganos internos del cuerpo humano.*
- **Color Naranja:** *Son las vías especiales de sentidos, es decir, aquellos estímulos que provienen de cualquiera de los cinco sentidos que posee el cuerpo humano: vista, gusto, olfato, tacto y oído.*

...”

□ **¿Qué enseñanza te dejó el simulador?**

“...Es una buena pregunta. Uno podría considerar que el simulador dejó una experiencia docente. Una síntesis del conocimiento. Una integración docente-alumno. Pero fue mucho más que eso. La integración fue interdisciplinaria. Teníamos que aprender a conocer cada uno el idioma del otro. Teníamos que aprender y entender la vida del otro...”

“...Después de muchos años, podemos finalizar este prototipo esperando dar un complemento didáctico integral, que sirve de ejemplo no solo para el área específica de la neuroanatomía, sino que además, comprende conocimientos que están en la vanguardia de las otras disciplinas que lo hacen posible (Informática y Electrónica).”