



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Sistema de visualización de estructuras  
fúngicas usando realidad aumentada para  
la enseñanza de la micología médica**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero en Computación**

**P R E S E N T A**

Irvin Vicuña Altamirano

**DIRECTOR DE TESIS**

M. en I. Sergio Teodoro Vite



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



# Agradecimientos

A mis padres.

Gracias papá, Rogelio Ángel Vicuña González, por todos los sacrificios que hiciste día a día para que no me faltara nada; gracias por compartir conmigo tu más grande virtud, la humildad.

Gracias mamá, María Isabel Altamirano Peralta, por todos los desvelos que pasaste, por estar ahí cuando llegaba tarde de la escuela y por tus ocurrencias que siempre me sacan una agradable sonrisa.

A mis hermanas, Geovana y Samanta, por acompañarme en este camino y compartir conmigo experiencias, pasiones, sueños y metas.

A mi abuelita, María Elena González Guzmán (†), por demostrarme que un título profesional no es necesario para impartir lecciones de vida. Porque me enseñaste que una persona puede darlo TODO sin esperar nada a cambio.

A mis cómplices, Yari, Aldair, Cristian, Carlos, y a los compañeros que me acompañaron durante la carrera, por compartir conmigo momentos de estrés durante exámenes, frustración en los proyectos, pero sobre todo gracias por los momentos de felicidad. Las risas no faltaron.

Agradezco también a mis asesores, Sergio Teodoro Vite y Francisca Hernández Hernández, por compartir sus conocimientos y experiencia para la elaboración de este trabajo, sin su apoyo el desarrollo de esta tesis hubiera sido complicado.

A la DGAPA, a través su Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza, proyecto PAPIME 215816 titulado “Las imágenes virtuales como herramienta para estimular el aprendizaje de la Micología Médica”, por brindarme los estímulos económicos necesarios para el desarrollo de mis actividades.

“¡Gracias... totales!”



*“La tecnología no es nada. Lo importante es que tengas fe en la gente, que sean buenas e inteligentes, y si le das herramientas, harán cosas maravillosas con ellas.”*

- *Steve Jobs*



## Resumen

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que busca complementar información del mundo real con elementos virtuales, generalmente pero no exclusivamente creados por computadora, con el objetivo de incrementar la cantidad de información sensorial que el humano puede percibir a través de los sentidos. En este contexto, la RA en los últimos años ha resultado ser una herramienta muy útil y atractiva para el diseño, análisis e implementación de sistemas de cómputo robustos, capaces de cubrir necesidades en áreas como la medicina, la aeronáutica, la geolocalización, la educación, el marketing y el entretenimiento. Específicamente en el campo de la medicina, las tecnologías de RA han permitido la representación gráfica de estructuras complejas, como la visualización de órganos internos del cuerpo humano a nivel macro, o el estudio de estructuras microscópicas. Este trabajo presenta el desarrollo de una aplicación de RA que permite la visualización del hongo *Sporothrix Schenckii* para la enseñanza de la micología médica, como una forma de concientización a los alumnos para su estudio en las áreas biomédicas, pues este hongo representa uno de los principales riesgos de salud a nivel nacional.

## Planteamiento del problema

Como parte del mapa curricular en la carrera de “Médico Cirujano” de la Facultad de Medicina de la UNAM, se encuentra la asignatura de “Microbiología y Parasitología”, en la cual los profesores han expresado últimamente una baja en el interés de los alumnos por adquirir los conocimientos teóricos de la asignatura. Por este motivo, desde hace algunos años en el Departamento de Microbiología y Parasitología se han venido desarrollando materiales multimedia que auxilien a los alumnos de segundo año a familiarizarse con las estructuras fúngicas causantes de micosis superficiales y subcutáneas.

Sin embargo, el tiempo de desarrollo de estos materiales se ha prolongado debido a distintos factores, entre ellos la falta de especialistas en el área de gráficos que propongan alternativas innovadoras y atractivas para los estudiantes.

Como resultado de esta necesidad, en el laboratorio de Bioinstrumentación del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología de la UNAM, se están desarrollando y validando sistemas aplicados a la enseñanza de la medicina usando diversos tipos de tecnologías de cómputo; entre ellas, la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada.

Hasta el momento, se ha podido evidenciar que estas tecnologías son una alternativa novedosa para el aprendizaje en asignaturas como la anatomía humana y cirugía. Por lo tanto, contar con un sistema gráfico, interactivo, de fácil acceso e intuitivo para que los estudiantes de medicina se interesen en la asignatura de Microbiología y Parasitología, y con esto, el índice de aprobación aumente, representa un impacto positivo en el campo de las tecnologías de cómputo aplicadas a la enseñanza médica.

## **Objetivo**

El desarrollo de este trabajo tiene como objetivo desarrollar un sistema de cómputo gráfico, que permita a estudiantes de medicina visualizar e interactuar con estructuras fúngicas causantes de la micosis subcutánea llamada “Esporotricosis”, haciendo uso de modelos virtuales generados por computadora a partir de imágenes microscópicas y desplegarlas en dispositivos móviles, utilizando tecnologías de Realidad Aumentada. Este sistema será una herramienta de aprendizaje que ayudará a los alumnos de medicina a incrementar su interés por la materia de Micología, debido a su innovador método de enseñanza.

## **Hipótesis**

Las tecnologías de realidad aumentada servirán como herramientas de estudio a los alumnos de la carrera de medicina para facilitar la comprensión e interpretación de los temas aprendidos en el aula.

## **Estructura de la tesis**

En el primer capítulo se aborda el contexto de las tecnologías de la realidad aumentada desde una perspectiva histórica, conceptual y enfocada a una aplicación médica con fines de enseñanza. Se aborda un caso de aplicación en la micología médica como proyecto de investigación en la generación de materiales didácticos que permitan incrementar el interés por el estudio de las estructuras fúngicas.

En el segundo capítulo se aborda una reseña general del contexto histórico de la enseñanza de la micología médica científica y los conceptos fundamentales de los cuales parte el desarrollo de la aplicación de RA.

En el tercer capítulo se describe la metodología de desarrollo del software para la visualización de estructuras fúngicas con RA mediante el uso de la plataforma Unity y Vuforia, las técnicas de registro y tracking, así como el diseño conceptual.

En el cuarto y quinto capítulos se presentan los experimentos controlados con usuarios, el análisis de los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas de la validación del software.

Finalmente, mediante un anexo se ofrece un manual de usuario con los pasos a seguir para la ejecución de la aplicación de RA de inicio a fin para dispositivos móviles.



# Tabla de contenido

---

Índice de figuras .....	10
Índice de tablas .....	11
<b>Introducción: Realidad Aumentada .....</b>	<b>12</b>
1.1 Contexto histórico .....	13
1.2 Arquitectura de desarrollo .....	17
1.2.1 Componentes .....	17
1.2.2 Registro y Tracking .....	19
1.2.3 Interacción.....	20
1.2.4 Despliegue .....	22
1.3 Realidad aumentada aplicada a la enseñanza.....	24
1.4 Realidad aumentada aplicada a la enseñanza de la medicina.....	28
<b>Enseñanza de la Micología Médica .....</b>	<b>32</b>
2.1 Enseñanza de la Micología Médica en México.....	33
2.2 Temas abordados en la enseñanza de la medicina en México .....	35
2.3 Enfermedades causadas por hongos.....	36
2.3.1 Esporotricosis .....	37
<b>Aplicación MiRA .....</b>	<b>40</b>
3.1 Análisis.....	41
3.2 Diseño.....	41
3.2.1 Caso de uso.....	42
3.2.2 Especificación de software .....	43
3.2.3 Especificación de hardware.....	46
3.3 Implementación .....	46
3.3.1 Escenas en Unity.....	46
3.3.2 Modelado .....	51
3.3.3 Animación.....	51
3.3.4 Audio .....	52
3.3.5 Realidad Aumentada Con Unity y Vuforia.....	52
3.3.6 Generación del archivo APK .....	57
3.3.7 Pruebas técnicas.....	58

<b>Pruebas y Resultados</b> .....	<b>60</b>
4.1 Preparación de las pruebas .....	61
4.2 Ejecución de las pruebas .....	61
4.3 Encuesta .....	62
4.4 Análisis de los resultados.....	64
4.4.1 Resultados de la evaluación .....	64
4.4.2 Resultados de la encuesta .....	67
<b>Conclusiones</b> .....	<b>78</b>
<b>Anexo A</b> .....	<b>80</b>
<b>Anexo B</b> .....	<b>84</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>88</b>

# Índice de figuras

---

Figura 1. Metaverso de la virtualidad. ....	13
Figura 2. Puesta en escena del efecto "Fantasma de Pepper". ....	14
Figura 3. Proyección de imágenes virtuales en un escenario. ....	15
Figura 4. "The Sword of Damocles". ....	16
Figura 5. Línea del tiempo de la RA. ....	16
Figura 6. Elementos básicos de un sistema de RA. ....	18
Figura 7. Interacción entre elementos básicos de un sistema de RA. ....	19
Figura 8. Libro: "La Vuelta al Mundo en 80 días". ....	21
Figura 9. Tecnologías de despliegue. ....	24
Figura 10. Cono de la experiencia. ....	25
Figura 11. Aplicación "Vía Apoptotica CD95". ....	26
Figura 12. Aplicación "Geometry App". ....	27
Figura 13. Aplicación "The GhostHands UX". ....	27
Figura 14. Aplicación "Augmented Chemistry". ....	28
Figura 15. Aplicación "Mirracle". ....	29
Figura 16. Línea del tiempo de la Micología Médica científica en México. ....	33
Figura 17. Clasificación de las enfermedades causadas por hongos. ....	37
Figura 18. Fases del hongo "Sporothrix schenckii". ....	38
Figura 19. Diagrama de escenas de la aplicación "MiRA". ....	47
Figura 20. Preferencia de orientación para aplicaciones. ....	48
Figura 21. Escenas de la aplicación MiRA. ....	49
Figura 22. Boceto para realizar una escena ....	50
Figura 23. Proceso de desarrollo de un modelo 3D. ....	51
Figura 24. Diagrama de flujo del script "ControlTarget". ....	54
Figura 25. Generación del archivo APK. ....	57
Figura 26. Ventana "Game" de Unity. ....	58
Figura 27. ¿Conocías la RA? ....	68
Figura 28. ¿Tuviste interacción con alguna aplicación que utilizara RA anteriormente? ....	69
Figura 29. Motivación para seguir usando RA. ....	69
Figura 30. ¿Te gustaría contar con este sistema para mejorar tus habilidades y conocimientos? ....	69
Figura 31. ¿Crees que es innovadora esta tecnología? ....	70
Figura 32. ¿Recomendarías la aplicación a un amigo, familiar o conocido? ....	70
Figura 33. Tutorial primera parte. ....	80
Figura 34. Tutorial segunda parte. ....	81
Figura 35. Tutorial tercera parte. ....	82

## Índice de tablas

---

<i>Tabla 1. Casos de uso de la aplicación MiRA.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 2. Requerimientos de software.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3. Resultados de la evaluación de conocimientos teóricos.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 4. Resultados de la encuesta de satisfacción, para la sección "Evaluación general". .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 5. Resultados de la encuesta de satisfacción, para la sección "Sensaciones". .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 6. ¿Fue fácil aprender a utilizar la aplicación por primera vez? .....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 7. ¿La información presentada en el sistema te parece relevante? ¿Por qué? .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 8. ¿Te dio la impresión de que los elementos virtuales se acoplaron a tu mundo?.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 9. ¿Crees que este tipo de tecnologías ayudaría a que adquieras conocimientos más rápidamente? ¿Por qué? .....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 10. ¿Te gustaría poder tener la aplicación en tu celular, Tablet, laptop, consola de videojuegos, salón de clases, lugar de trabajo, etc.? ¿Para cual(es) de ellos te sería de mayor utilidad y por qué?.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 11. ¿Crees que la aplicación cumple con los objetivos de enseñanza? ¿Por qué?.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 12. ¿Qué mejorarías, modificarías o eliminarías sobre el contenido presentado?.....</i>	<i>77</i>

## Capítulo 1

### Introducción: Realidad Aumentada

---

Hoy en día cada vez es más frecuente escuchar el término “Realidad Aumentada” (RA) en ámbitos comerciales, educativos, industriales y de investigación. Empresas como Coca Cola, Converse, LEGO, IKEA, BBC, por mencionar algunas, han implementado aplicaciones interactivas en sus áreas de marketing, para promocionar una gran variedad de productos, de tal forma que sus clientes puedan conocerlos antes de realizar una compra. Asimismo, en otras áreas como la educación, estas tecnologías han permitido que los aprendices tengan a su disposición réplicas casi exactas de modelos físicos para practicar en escenarios simulados que combinan elementos virtuales con elementos reales. Procesos complejos, como el ensamblado de piezas mecánicas se han beneficiado de la RA por ser herramientas de asistencia para verificaciones de calidad en manufactura y detección de piezas defectuosas. En el área de la salud, podemos encontrar sistemas de entrenamiento para conocer la anatomía del paciente mediante entornos interactivos, herramientas de asistencia quirúrgica e inclusive juegos serios para rehabilitación.

Como resultado de su amplio campo de aplicación, los avances tecnológicos y las herramientas de software han evolucionado para permitir el desarrollo de sistemas de RA más simples, intuitivos y accesibles.

En este capítulo, se presenta una descripción del estado del arte en cuanto a tecnologías de RA, abordando desde su origen, la metodología de desarrollo desde el punto de vista de ingeniería, sus aplicaciones y cómo este trabajo buscó enfocar su uso en la creación de una herramienta de software para el aprendizaje de la micología médica.

## 1.1 Contexto histórico

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología derivada de la Realidad Mezclada (RM). La Realidad Mezclada, es un entorno en el que los objetos del mundo real y del mundo virtual se mezclan para generar un solo ambiente [1].

Dentro de la Realidad Mezclada, se encuentran la Realidad Aumentada y la Virtualidad Aumentada. Estas tecnologías se caracterizan y se definen por sus contenidos reales y virtuales.

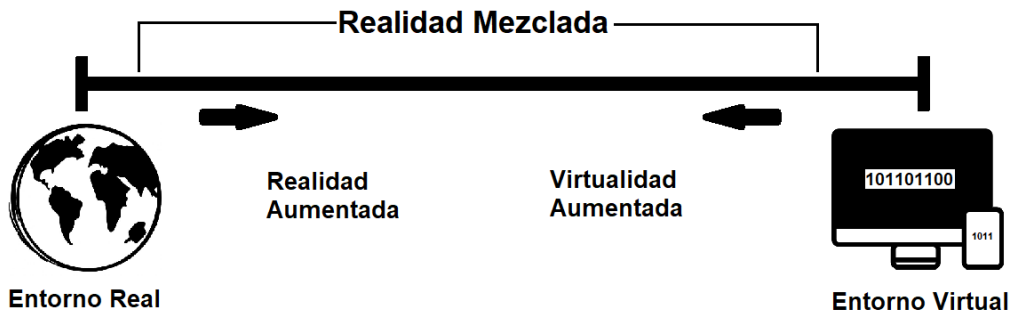


Figura 1. Metaverso de la virtualidad.

En el campo de la simulación, las tecnologías de la virtualidad se conciben como una línea continua donde en un extremo se encuentran las técnicas de simulación que emplean objetos físicos para representar a la realidad y en el otro a los ambientes inmersivos con realidad virtual. En los intermedios de la línea continua se sitúan los entornos aumentados, a veces también llamados “mixtos”.

A partir de esta figura, podemos decir que, si en el sistema se presenta mayor contenido real en comparación con el virtual, estamos trabajando con Realidad Aumentada. Por el contrario, si se presenta mayor contenido virtual, en comparación con el contenido real, trabajamos con Virtualidad Aumentada.

Actualmente existen diversas definiciones para la Realidad Aumentada, por ejemplo:

- “La Realidad Aumentada está generada por objetos, contextos e imágenes virtuales mediante una computadora y los superpone o integra en el mundo real.” [2].
- “La Realidad Aumentada es una tecnología que permite que la información de imágenes virtuales generada por computadora sea superpuesta en un entorno real en tiempo real.” [3].
- La Realidad Aumentada complementa el mundo real con objetos virtuales, de modo que los objetos virtuales parecen coexistir en el mismo espacio que el mundo real [4].

- Aquellas tecnologías que permiten la superposición, en tiempo real, de imágenes, marcadores o información generados virtualmente, sobre imágenes del mundo real. [5]

Por lo tanto, la RA se describe como una tecnología que permite incorporar elementos gráficos generados por computadora, en un ambiente real, en tiempo real.

El término “*Realidad Aumentada*”, se le atribuye al investigador Thomas P. Caudell, quien utilizó este término por primera vez en 1990. Sin embargo, la RA tiene sus orígenes desde el siglo XVI, cuando en 1584, el investigador, filósofo y alquimista italiano Giovanni Battista della Porta, presentó su obra “*Cómo podemos ver en una habitación cosas que no están*”, en la que describió un efecto óptico que permitía a los magos aparecer y desaparecer elementos artificiales dentro de un espacio real.

Tiempo después, en el año de 1862, la idea de Giovanni fue retomada por el ingeniero inglés Henry Dircks, autor de “*Dircksian Phantasmagoria*”, una técnica que crea la ilusión óptica de aparecer, desaparecer, e incluso levitar elementos en un escenario. A pesar de ser una idea innovadora y atractiva para la época, fue rechazada por los propietarios de los teatros dado que los costos de la implementación eran muy altos.

Posteriormente, Henry Dircks conoció al científico inglés John Henry Pepper, quien le propuso una manera diferente de montar este acto en los escenarios, aplicando sencillas modificaciones. Ambos concretan la idea y tienen su primera presentación en la obra “*The Haunted Man and the Ghost’s Bargain*”, del autor Charles Dickens. Como consecuencia de las modificaciones aplicadas por Henry Pepper, el efecto recibió el nombre de “*Pepper’s Ghost*”.

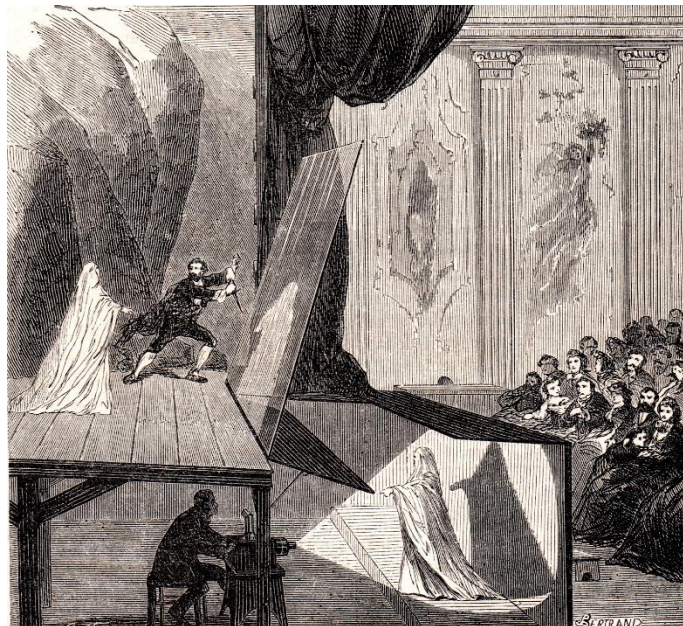
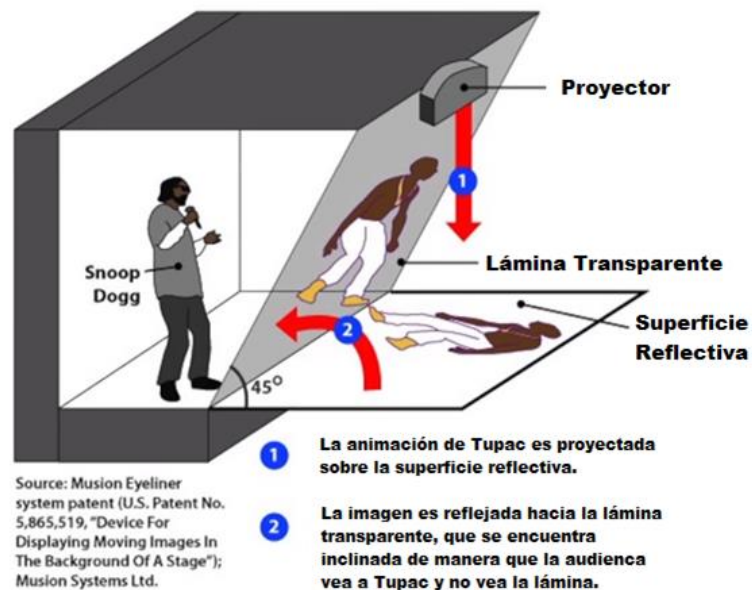


Figura 2. Puesta en escena del efecto "Fantasma de Pepper".

Esta técnica es tan efectiva, que en la actualidad se sigue implementando en lugares y eventos como:

- The Haunted Mansion, en Walt Disney World [6].
- La presentación de la banda virtual “Gorillaz” y Madonna en los premios Grammy del 2006, celebrada en Los Ángeles.
- En el festival Coachella celebrado el 12 de abril del 2012, se llevó a cabo una simulación en donde se proyectó una animación del difunto rapero “Tupac”, compartiendo el escenario con el verdadero Snoop Dog. La Figura 3 muestra un diagrama que describe la manera en la que se llevó a cabo dicha proyección.



*Ilustración hecha por Roxanne Palmer, para el "International Business Times"*

*Figura 3. Proyección de imágenes virtuales en un escenario.*

*Diagrama que explica cómo proyectar imágenes virtuales en un escenario.*

A pesar de que “El Fantasma de Pepper” agrega elementos virtuales a una escena real, estos elementos son generados a partir de cristales, reflejos e iluminación, y no son específicamente generados por computadora; es por esto que no se acepta por completo como una aplicación de RA. Sin embargo, es considerado como un precursor para lo que hoy entendemos como RA. [7]

A partir de las definiciones citadas de la RA, podemos decir que la primera aplicación que implementa elementos generados por computadora fue desarrollada en la década de los 60's por el científico Ivan Sutherland. La aplicación fue nombrada “The Sword of Damocles” debido al display estereoscópico colocado a la altura de la cabeza y que se sujetaba desde el techo del laboratorio, como podemos ver en la Figura 4.



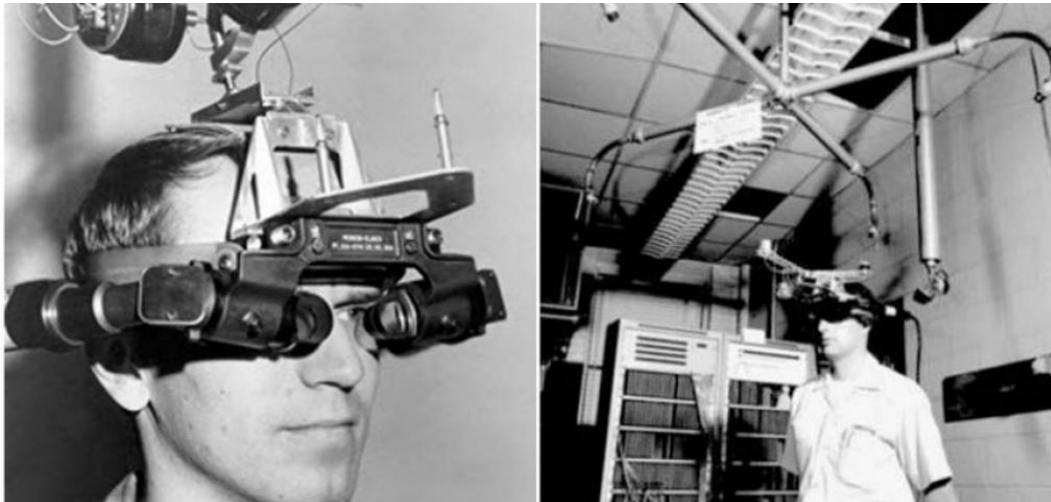


Figura 4. "The Sword of Damocles".  
Desarrollada en la década de los 60's por el científico Ivan Sutherland.

Este sistema únicamente desplegaba modelos alámbricos, es decir, figuras generadas a partir de líneas. Esto por el limitado procesamiento computacional con el que se contaba. Además, este aplicativo implementaba en su mayoría la Realidad Virtual, sin embargo, el display colocado en la cabeza a manera de casco era traslúcido y permitía al usuario ver su entorno real. Por este motivo se considera como la primera aplicación de RA.[8]

Hasta este punto, se han mencionado las aplicaciones que dieron origen a la RA. En la Figura 5, podemos observar una línea del tiempo que indica la aparición de estas aplicaciones.

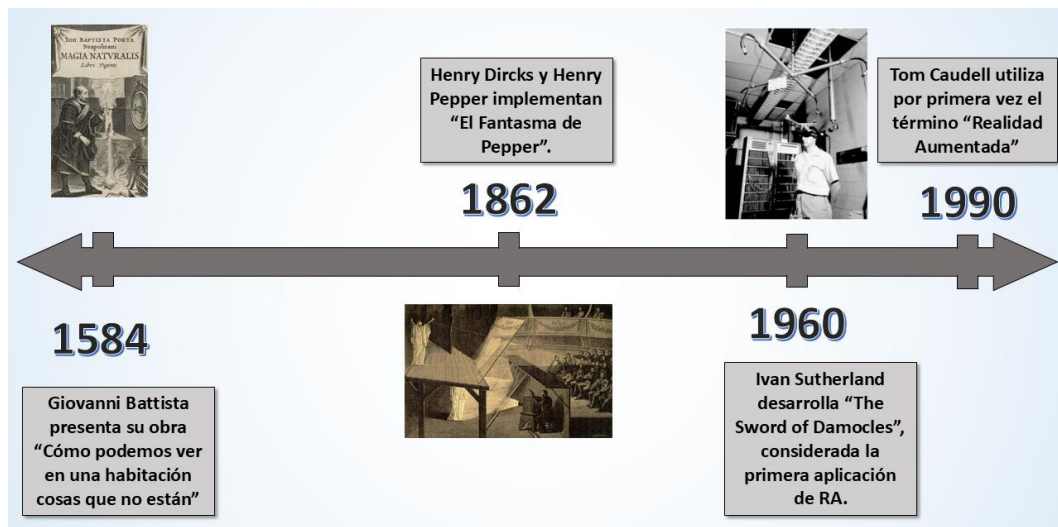


Figura 5. Línea del tiempo de la RA.  
Se mencionan las aportaciones de Giovanni Battista, Henry Pepper, Ivan Sutherland y Tom Caudell.

En el campo tecnológico, existen sociedades interesadas en nuevas tecnologías, específicamente en la Realidad Aumentada. Ejemplos de estas sociedades son:

- IEEE Computer Society
- IEEE VGTC (Visualization & Graphics Technical Committee)
- ACM (Association for Computing Machinery)

Estas sociedades organizan anualmente un simposio, en donde se llevan a cabo congresos, talleres y conferencias que tienen como temas centrales la RA y la Realidad Mixta (RM).

El primer congreso de RA se llevó a cabo el 1 de noviembre de 1998 en San Francisco, CA, y fue conocido como “IWAR” (International Workshop on Augmented Reality). Posteriormente, en el 2000, el IWAR cambió su nombre a “ISAR” (International Symposium on Augmented Reality), el cual se llevó a cabo en Munich, Alemania. Finalmente, en el 2002, el ISAR cambia su nombre a lo que actualmente conocemos como “ISMAR” (International Symposium on Mixed and Augmented Reality).

El ISMAR ha recorrido países como Alemania (2002 y 2018), USA (2006), Japón (2007), Corea (2010), Suiza (2011), Australia (2013), Francia (2017), entre otros. [9]

La 15<sup>va</sup> edición de este evento tuvo como sede la ciudad de Mérida, Yucatán; se llevó a cabo del 19 al 23 de septiembre del 2016, siendo la primera vez que el simposio tuvo lugar en una ciudad de América Latina. Además, fue la primera vez que se llevó a cabo un hackathon dentro del evento. [10]

## **1.2 Arquitectura de desarrollo**

Los sistemas de Realidad Aumentada mantienen un patrón en su desarrollo y requieren de elementos mínimos para poder funcionar. A continuación, se describen los elementos y algunas tecnologías necesarias para llevar a cabo el desarrollo de un sistema de RA.

### **1.2.1 Componentes**

Antes de explicar cómo funciona una aplicación de Realidad Aumentada, es importante conocer su estructura y los elementos que la conforman.

Un sistema de RA está conformado principalmente por 4 elementos básicos:

- Elementos de Entrada: capturan las imágenes que el usuario ve en su entorno real. Principalmente son cámaras y/o sensores.
- Elementos Activadores: indican al sistema el momento en el que se debe desplegar el contenido virtual. Estos elementos pueden ser marcadores que, al momento de ser reconocidos por el sistema, activen la RA. O bien, pueden ser elementos de localización que, al reconocer una posición y orientación específica, activen la RA.
- Elementos de Procesamiento: reciben la información de los elementos de entrada, y la procesan por medio de software y hardware con el fin de generar las imágenes virtuales en la posición adecuada.
- Elementos de Salida: en ellos se despliegan las imágenes virtuales agregadas por los elementos de procesamiento, en conjunto con las imágenes reales capturadas por los elementos de entrada. Es el display del dispositivo en uso.



Figura 6. Elementos básicos de un sistema de RA.

Se presenta un ejemplo de cada uno de los elementos que conforman un sistema de RA; sin alguno de ellos, la aplicación pierde funcionalidad.

Como resultado de unir estos 4 elementos, obtendremos un sistema de RA. Es posible añadir elementos para mejorar la experiencia de usuario y la inmersión en el sistema, sin embargo, no es posible omitir alguno de estos elementos básicos, si se hace, el sistema dejará de ser funcional.

La Figura 7 explica la manera en que estos elementos básicos interactúan entre sí.

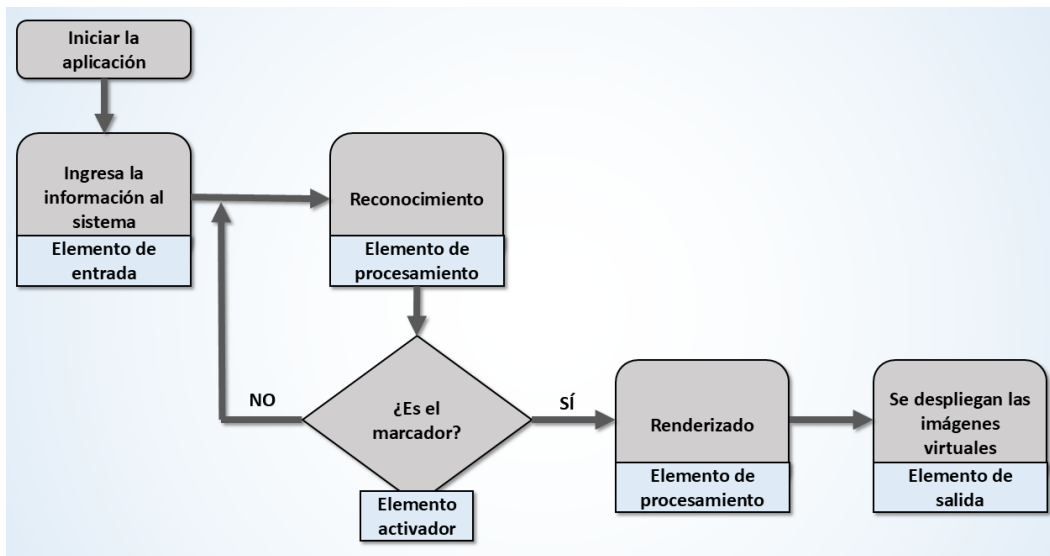


Figura 7. Interacción entre elementos básicos de un sistema de RA.

A manera de diagrama de flujo, se explica la interacción que tienen los elementos básicos para funcionar en conjunto como un sistema de RA.

1. Los elementos de entrada capturan las imágenes del ambiente real, en tiempo real.
2. Los elementos de procesamiento (software), llevan a cabo 3 acciones:
  - a. Reconocimiento: Se realiza el reconocimiento del marcador, entre las imágenes captadas por los elementos de entrada.
  - b. Tracking (Seguimiento): Una vez que se reconoce el marcador, se le da seguimiento a su posición, con el fin de colocar los elementos virtuales en una posición previamente determinada.
  - c. Renderizado: Finalmente se lleva a cabo el renderizado, que consiste en generar y desplegar los elementos gráficos virtuales en los elementos de salida. [7]

Con todo esto, podemos decir que la RA es un conjunto de tecnologías y elementos que interactúan entre sí. Estas tecnologías tienen el fin de brindar una experiencia de usuario capaz de fusionar un ambiente virtual, con el entorno real. En donde el usuario pueda interactuar con ambos ambientes en tiempo real.

### 1.2.2 Registro y Tracking

El “Tracking” o “Seguimiento” es un conjunto de tecnologías que permiten localizar y seguir la posición y orientación de un elemento en tiempo real, por medio de dispositivos electrónicos, principalmente sensores, cámaras y Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

### **Tracking basado en sensores**

Actualmente es inusitado desarrollar una aplicación de RA con un sistema de seguimiento basado 100% en sensores; esto es por el mejoramiento en la calidad de las cámaras y GPS. Algunos sensores como los infrarrojos, acelerómetros y giroscopios aún se utilizan para complementar el tracking de una aplicación de RA sin marcadores.

### **Tracking basado en visión (marcadores)**

Como se mencionó anteriormente, la mejora de la calidad en los dispositivos de vídeo, así como el decremento en sus costos y el fácil acceso, dio pie a que esta tecnología creciera de manera notoria. Siendo actualmente la tecnología de seguimiento más activa. [5]

La característica principal de esta tecnología es el uso de cámaras de video, encargadas de realizar el seguimiento de los marcadores.

Los marcadores más usados en el tracking son los códigos QR (Quick Response), utilizados por su alta velocidad de lectura y fácil interpretación por parte de los elementos de procesamiento, los cuales no requieren de una capacidad avanzada de procesamiento.

Aunque la implementación de estos códigos tiene ciertas ventajas, es importante decir que en ocasiones presentan inconvenientes. Estos inconvenientes se encuentran principalmente en la usabilidad, debido a que es necesario contar físicamente con los códigos QR cada que se desee ejecutar la aplicación de RA; además, estos códigos no brindan información al usuario.

Además de los códigos QR, en la actualidad se está trabajando en el reconocimiento de imágenes reales, objetos 3D, gestos y movimientos, con la desventaja de que es necesario contar con un hardware más robusto, con la capacidad de procesamiento necesaria para el reconocimiento de imágenes.

### **Tracking híbrido**

Como consecuencia de las desventajas que presentan las tecnologías de seguimiento implementadas de manera independiente, se fusionan ambas tecnologías de seguimiento, dando como resultado una tecnología más precisa, la cual se ayuda de cualquier tipo de recursos, para llevar a cabo el seguimiento (GPS, brújula, giroscopio, acelerómetro, cámara infrarroja, cámara RGB, etc.), reduciendo el margen de error de los GPS, el cual es de 20 metros aproximadamente. [5]

## **1.2.3 Interacción**

Uno de los principales objetivos de la Realidad Aumentada, es brindar la mejor experiencia de usuario posible, y para ello es necesaria una excelente interacción entre el

usuario y el sistema. Es por eso por lo que resulta indispensable el avance de esta tecnología.

Algunas clasificaciones dentro de las tecnologías de interacción pueden llegar a confundirse con las de seguimiento, por tal motivo es necesario recordar que el seguimiento es la tecnología que permite ubicar un elemento físico en tiempo real, por ejemplo, ubicar un marcador, un rostro, etc.

Por otro lado, la interacción está enfocada a la manera en la que el usuario proporciona información al sistema y viceversa, por ejemplo, desplazando un marcador para que el sistema realice una acción, ejecutando comandos de voz, presionando botones físicos o virtuales, etc. Las tecnologías de interacción más conocidas son:

### **Interacción por medio de marcadores**

Este tipo de interacción consiste en colocar marcadores en objetos reales, con el fin de superponer un objeto virtual, ejecutar una función, entre otras cosas. Actualmente es posible interactuar con más de un marcador al mismo tiempo.

A pesar de ser la tecnología de interacción más usada (debido a la facilidad que representa en el desarrollo de aplicaciones), la interacción y la experiencia de usuario es pobre, dejando al usuario la única tarea de colocar y quitar marcadores.

Como un ejemplo claro de este tipo de interacción, se tienen los libros de RA, en donde se presentan marcadores que, al ser reconocidos por los elementos de procesamiento, despliegan información virtual al usuario.



*Figura 8. Libro: "La Vuelta al Mundo en 80 días".*

*Este libro contiene marcadores en sus páginas, al mirarlos a través de las gafas se despliega contenido virtual sobre las páginas.*

[11]

### **Interacción por medio de movimientos corporales**

Esta interacción tiene sus bases en el reconocimiento de imágenes, es por eso que requiere de una mayor capacidad en el procesamiento. Sin embargo, comparado con la interacción por medio de marcadores, esta tecnología brinda al usuario una mejor interacción con el sistema.

La interacción se presenta principalmente por medio del movimiento de manos, permitiendo al usuario manipular objetos virtuales con sus propias manos, o bien, realizar acciones como salir de la aplicación, avanzar, pausar, etc.

### **Interacción por medio de sistemas hápticos**

Los sistemas hápticos son aquellos que brindan al usuario la sensación táctil de manipular objetos virtuales, esto es, dan la sensación al usuario de estar tocando y manipulando un objeto virtual.

### **Interacción multimodal**

La interacción multimodal acepta la entrada de datos por medio de cualquier modo antes mencionado. En esta interacción se procesan movimientos corporales, gestos, voz, marcadores, y sus posibles combinaciones. Como consecuencia, obtenemos una interacción más fluida, brindando al usuario una amplia inmersión en el sistema.

## **1.2.4 Despliegue**

### **HMD, OHMD y Lentes de Contacto**

Como se explicó al principio de este capítulo, la primera aplicación de Realidad Aumentada fue el sistema llamado “The Sword Of Damocles”; este sistema contaba con un “*Head-Mounted Display*” (HDM).

Un HDM es un dispositivo de despliegue, similar a la forma de un casco y que contiene en su interior un display con visión estereoscópica. Estos dispositivos son utilizados principalmente para la Realidad Virtual, dado que aislaban por completo la visión del ambiente real. Sin embargo, actualmente existen HDM con pequeñas ventanas que permiten la visión del ambiente real.

La tecnología de despliegue con más ventajas para visualizar elementos con Realidad Aumentada, son las gafas para RA o también conocidos como OHMD “*Optical Head-Mounted Display*”. Estos dispositivos son los sucesores de los HMD y se desea que, en un futuro, se utilicen lentes de contacto para RA.

El objetivo de estas tecnologías es brindar una experiencia de usuario en la cual las imágenes digitales se encuentren cercanas a los ojos, permitiendo al usuario una mejor visualización del entorno virtual con el real. Además de ser accesorios que se utilizan en la vida diaria, son portables y no estorban.

Actualmente, muchas empresas se están enfocando en perfeccionar esta tecnología. Una de las empresas más importantes en esta área, es Google, empresa que en junio de 2012 dio a conocer “*Glass*”.

A pesar de que los OHMD para Realidad Aumentada, pueden considerarse como la tecnología de despliegue más acertada, en realidad representan un costo elevado para el público en general. Como consecuencia, las gafas no son las más usadas a la hora de visualizar aplicaciones de RA.

## **Displays**

Gracias a la constante evolución en el desarrollo de dispositivos móviles como tabletas y smartphones, sus displays también han ido mejorando; ahora cuentan con una mayor resolución, y, además, el precio de estos dispositivos ha disminuido, haciéndolos más accesibles.

Además, gracias a las plataformas para el desarrollo de aplicaciones de RA, como Vuforia, es más sencillo desarrollar aplicaciones para dispositivos móviles, permitiendo a los usuarios elegir entre una variedad de aplicaciones, todo esto desde su teléfono celular. Es por esto por lo que los displays de dispositivos móviles son la tecnología de despliegue más utilizada actualmente.

## **Interfaces 3D**

Se pueden encontrar también las interfaces 3D, las cuales consisten en desplegar contenidos en 3D implementando una tecnología denominada “auto estereoscopia”. Esta tecnología permite al usuario visualizar imágenes en 3D sin necesidad de dispositivos adicionales como lentes o displays.

Un ejemplo de esta tecnología es la videoconsola portátil “Nintendo 3DS”, lanzada por la compañía Nintendo en el 2011.

## **Proyecciones**

Adicionales a estas tecnologías, existen otras menos comunes, sin dejar de ser interesante la manera en la que despliegan la información digital. Una de ellas, es aquella que proyecta su contenido digital sobre superficies reales. El ejemplo más común, son los teclados virtuales.

## **Head-up Displays (HUD)**

Finalmente, tenemos los “*Head-up displays*” (HUD), dispositivos de despliegue utilizados principalmente en automóviles. Estos dispositivos son colocados en la parte del tablero y parabrisas.

En estos displays se presenta un diagnóstico del automóvil, con información básica como la velocidad, temperatura, niveles de batería, gasolina, aceite, entre otros elementos importantes para el conductor.

Son displays de bajo costo (desde \$300.00 MXN), por lo que es fácil adquirirlos. En algunos automóviles de gama alta, los HUD vienen integrados, y en algunos otros, es posible instalarlos, conectándose al sistema de diagnóstico a bordo (OBD), o por medio de un dispositivo móvil. [7]





Figura 9. Tecnologías de despliegue.

A) Head-Mounted Display.

B) Optical Head-Mounted Display. En la imagen se presentan los Google Glasses, los OHMD más populares.

C) Teclado virtual proyectado con láser.

D) Head-up Display de un Mini Cooper S, modelo 2020.

### 1.3 Realidad aumentada aplicada a la enseñanza

En el área de la enseñanza, existen varios tipos de aprendizajes, uno de ellos es el aprendizaje significativo. Este tipo de aprendizaje consiste en asociar información nueva con información que ya se posee, interactuando con el mundo. Este aprendizaje se puede representar como:

- Activo: necesita que el alumno interactúe con el mundo que lo rodea y se puede expresar como “Aprendiendo haciendo”.
- Constructivo: necesita que el alumno integre y relacione nuevas experiencias o conocimientos, con el conocimiento que ya posee.
- Intencional: necesita un comportamiento que esté orientado a objetos o metas.
- Auténtico: necesita que el alumno realice tareas reales, con cierto grado de complejidad, en un ambiente realista.
- Cooperativo: necesita que el alumno colabore y se comuniquen con otras personas.

[12]

También es importante aclarar que según el “Cono de la Experiencia” (Ver Figura 10), desarrollado por el académico Edgar Dale, las acciones o temas que la gente recuerda más son aquellas que ejecutaron o con las que interactuaron. [7]

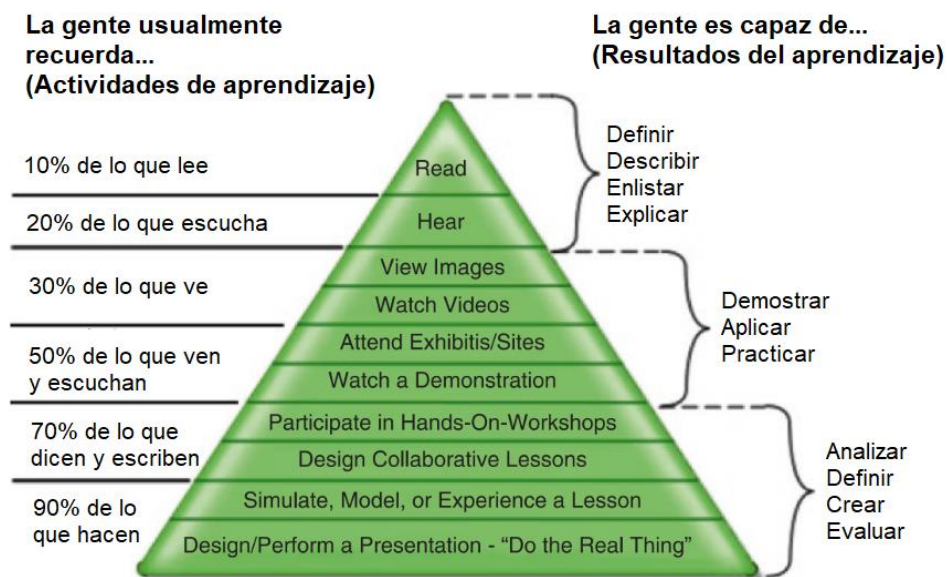


Figura 10. Cono de la experiencia.

Se trata de un diagrama propuesto por Edgar Dale en el cual se describen las acciones que permiten una mayor retención de los temas o acciones desarrolladas. [7]

Dado que en un sistema de RA existe una interacción con los elementos virtuales en tiempo real, y que el alumno es capaz de aprender y mejorar sus conocimientos manipulando los elementos virtuales, se fortalece el aprendizaje significativo.

Gracias al acelerado crecimiento tecnológico, la RA en la educación ha incrementado [13] y se han desarrollado una gran cantidad de aplicaciones móviles. La mayoría tienen como fin facilitar las tareas que llevamos a cabo en nuestra vida diaria. Sin embargo, existe otra área de gran importancia, el área educativa.

En esta área, se tiene una amplia oportunidad de aplicar la RA en la enseñanza de cualquier tema. Una aplicación ejemplar y simple, es un libro de Realidad Aumentada. Se pueden utilizar libros de RA para reforzar la enseñanza de cualquier tema y asignatura, brindando al alumno recursos interactivos, en los que puede ver de manera gráfica los elementos a los que se haga referencia en el libro.

Además de aplicaciones sencillas como libros de RA, pueden desarrollarse aplicaciones más complejas, que ayuden a los alumnos a comprender e incluso practicar temas específicos de asignaturas como matemáticas, arte, medicina, física, geografía, entre otras más.

A continuación, se describen algunas aplicaciones que implementan Realidad Aumentada y cuyas disciplinas son ajenas a la Medicina.

### Vía Apoptotica CD95 (Biología)

Esta aplicación fue desarrollada por alumnos de la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, en la cual se explican temas de biología de nivel superior, con Realidad Aumentada.

Para poder activar la RA, la aplicación proporciona un código QR, el cual funciona como marcador, como se muestra en la Figura 11.

La aplicación actualmente se encuentra en la Play Store. [14]

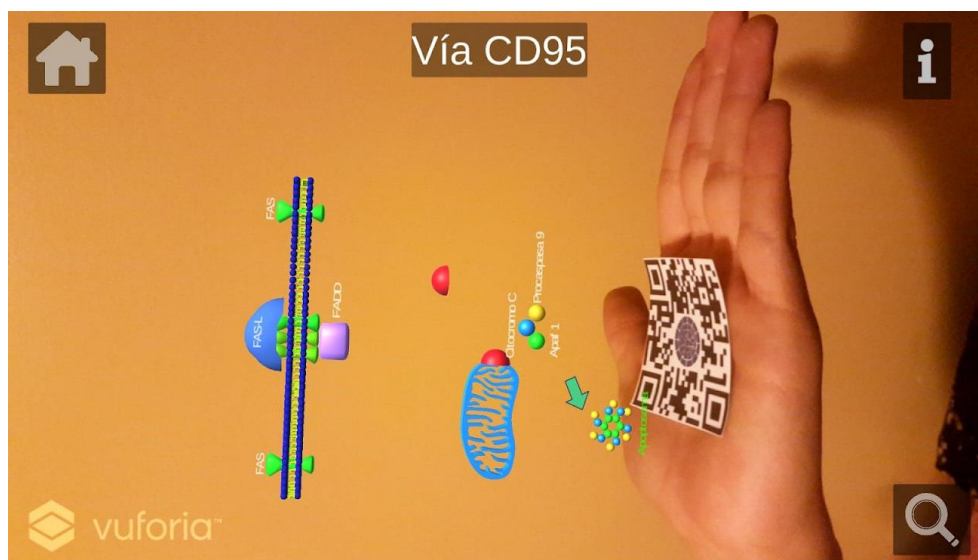


Figura 11. Aplicación "Vía Apoptotica CD95".  
Desarrollada por alumnos de la UNAM en el 2018. [14]

### Geometry App

Geometry App es una aplicación desarrollada por la Sociedad de Desarrollo en Videojuegos (SODVI) de la Facultad de Ingeniería. Esta aplicación utiliza marcadores generados por el usuario y permite visualizar figuras cónicas, variando los parámetros en tiempo real, como se muestra en la Figura 12. Cuenta con minijuegos para ayudar a estudiantes de nivel medio superior y superior, en temas de geometría analítica. Actualmente la aplicación se encuentra en la Play Store, disponible para su descarga. [15]

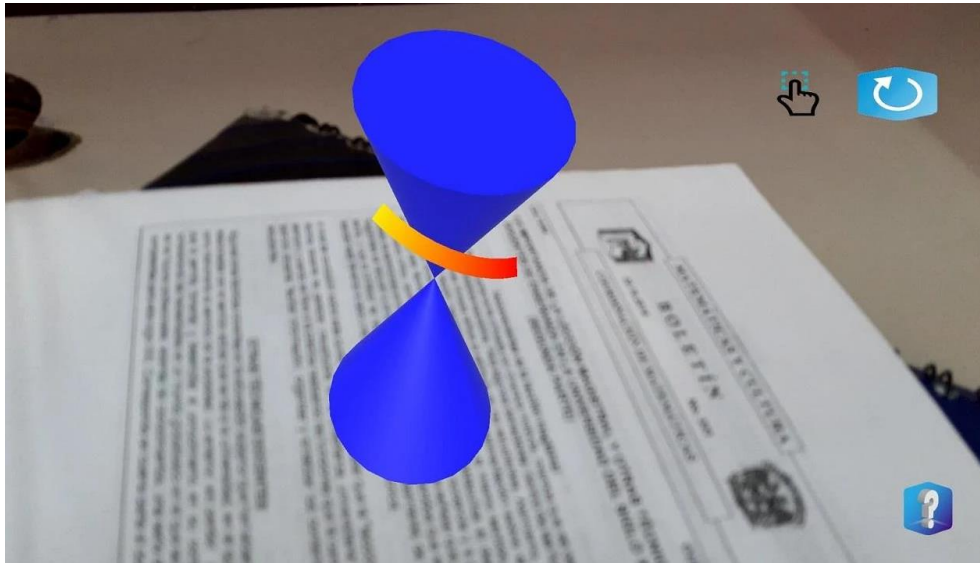


Figura 12. Aplicación "Geometry App".  
Desarrollada por SODVI, de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. [15]

### The GhostHands UX

Este sistema fue desarrollado en el *Knowledge Media Institute* en el Reino Unido. "The GhostHands UX" tiene como objetivo principal, tele monitorear y asistir a los alumnos utilizando una tecnología llamada "GhostHands". Esta tecnología consiste en colocar modelos virtuales que simulen las manos del profesor (Ver Figura 13).

De esta manera, el alumno aprenderá el desarrollo de procesos manuales, mientras es asistido por el profesor en tiempo real, guiándose de sus gestos manuales. [16]

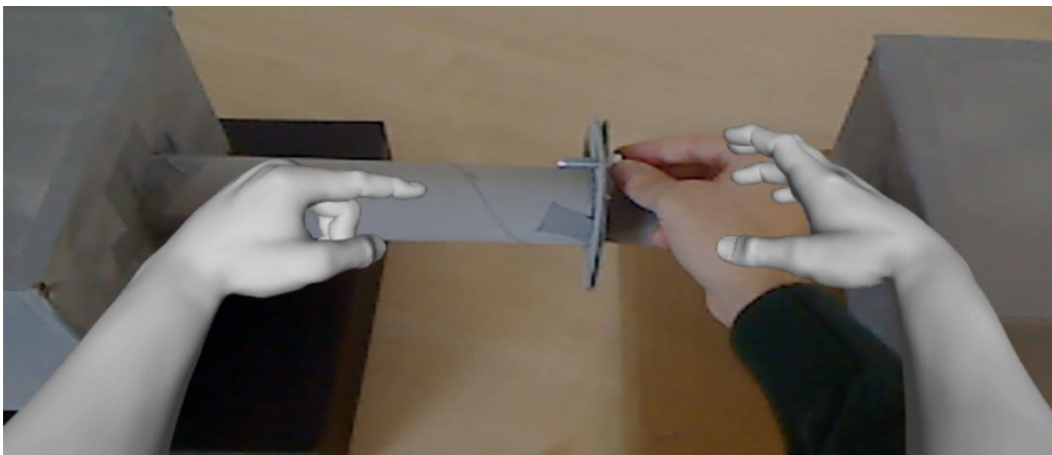


Figura 13. Aplicación "The GhostHands UX".  
Aplicación que permite tele monitorear a los usuarios.

## Augmented Chemistry

Este sistema de Realidad Aumentada fue desarrollado en Suiza y tiene como objetivo mostrar elementos químicos en 3D, los cuales pueden ser elegidos por el estudiante mediante diferentes marcadores, como se muestra en la Figura 14.

El sistema permite el uso concurrente de las herramientas, así como la integración de uno o varios usuarios al mismo tiempo. Además, para usar el sistema en un contexto educativo, se adaptó a una mesa de trabajo que se basa en el aumento háptico y auditivo. [17]



*Figura 14. Aplicación "Augmented Chemistry".  
Aplicación que permite mostrar elementos químicos.*

## Live Solar System

Este sistema tiene como objetivo principal, la representación en tiempo real del Sistema Solar. Es un sistema de Realidad Aumentada, basado en marcadores y desarrollado en la Facultad de Ciencia y Tecnología de Información, de la Universidad Kebangsaan, en Malasia. [18]

## 1.4 Realidad aumentada aplicada a la enseñanza de la medicina

Con frecuencia escuchamos que la Medicina es una ciencia compleja para su estudio y comprensión. Es una ciencia que se encuentra en constante estudio y para la cual, es necesario invertir una gran cantidad de tiempo en el proceso de enseñanza, en donde se genera conocimiento a partir de los recursos y el material que existe actualmente.

Como consecuencia ante este reto, se han desarrollado tecnologías que permitan facilitar la manera en que los profesores imparten esta ciencia. Una de ellas es la RA, la cual es adecuada para este tipo de asignaturas, en donde es necesario representar objetos tridimensionales, que son difíciles de hallar u observar, en un ambiente real. Como es el caso de células, órganos, huesos, tejidos, etc. Esta tecnología permite a estudiantes y profesores, observar y manipular modelos tridimensionales y así, comprender mejor los temas que se desean enseñar.

Es por este motivo que la RA ha tenido un auge en el desarrollo de sistemas aplicados a la enseñanza de la medicina.

En el 2012, en Alemania, se desarrolló un sistema de Realidad Aumentada llamado "Miracle". Este sistema simula un espejo y utiliza una cámara de profundidad que identifica la posición del usuario y despliega la imagen real en una pantalla. Una vez calculada la posición, el sistema superpone imágenes de Tomografías Computarizadas (CT), modelos de órganos tridimensionales y texto informativo sobre la imagen del usuario, de esta manera se crea la ilusión al usuario de poder ver en la pantalla el interior de su cuerpo, como se muestra en la Figura 15.



*Figura 15. Aplicación "Miracle".  
Es la simulación de un espejo, implementado con tecnologías de RA.*

Existen también sistemas que ayudan a los médicos cirujanos; tal es el caso de la plataforma de asistencia de Realidad Aumentada para cirugía láser ocular [19]. Esta plataforma desarrollada en el 2015 brinda asistencia durante una cirugía láser mediante algoritmos que detectan áreas sensibles del ojo, y las delimitan. De esta manera, si el láser

se encuentra cerca de las áreas protegidas, el sistema envía un mensaje de advertencia, en caso de que el láser apunte áreas protegidas, el sistema desactiva la función del láser para proteger el ojo del paciente. Como consecuencia, el sistema brinda seguridad tanto a pacientes como a médicos y reduce el tiempo de la operación.

Otro ejemplo de sistemas de RA para cirugías, es el proyecto “Stereoscopic augmented reality for laparoscopic surgery” [20], el cual consiste en apoyar a los médicos en las cirugías laparoscópicas, y es que una laparoscopia convencional únicamente brinda imágenes en dos dimensiones de elementos tridimensionales, aunado a que en ocasiones es difícil para un médico observar elementos que se encuentran obstruidos por órganos más grandes.

En el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT) de la UNAM, se ha desarrollado una aplicación llamada “ARAnatomy Explorer”, que consiste en un atlas del cuerpo humano, enfocado a que los alumnos comprendan y visualicen de forma gráfica la anatomía humana. En la versión actual, ARAnatomy Explorer permite visualizar los modelos de la cabeza, miembros superiores e inferiores, sistema musculoesquelético y extremidades.

Además, en el ICAT se está desarrollando una plataforma de Realidad Aumentada para la planeación quirúrgica. Esta plataforma tiene como objetivo preparar a los médicos cirujanos para tomar decisiones antes, durante y después de una cirugía.

De acuerdo con un artículo publicado en el 2019 [21], la Realidad Aumentada resultó positiva en la aceptación de alumnos de medicina que cursaban la asignatura de “Anatomía Humana I” en la Universidad de Sevilla. Estos resultados se dieron gracias a sus beneficios didácticos.

Es importante señalar que a pesar de que actualmente existen varios sistemas aplicados a la enseñanza de la medicina, estos sistemas se dirigen principalmente a la Anatomía Humana. Siendo escasos o nulos, los sistemas dirigidos a la enseñanza de la Micología Médica.





## Capítulo 2

### Enseñanza de la Micología Médica

---

Los primeros registros de micosis causadas por hongos, datan del siglo IV a.C., cuando el médico griego Hipócrates registró los primeros casos de “algodoncillo” o “Candidiasis Oral”, una infección causada por el hongo “Candida albicans” [22]. A partir de esta fecha, se han estudiado las características generales de los hongos, y es la Micología la ciencia encargada del estudio de estos organismos. Es importante mencionar que la micología médica está involucrada en la mayor parte de las especialidades médicas, debido a que los hongos pueden causar infecciones en diversos órganos y tejidos.

En este capítulo se describe la historia general de la micología médica en nuestro país, así como los métodos de enseñanza empleados para esta área de la medicina. Además, se detallan las características de una micosis subcutánea en específico provocada por el hongo “Sporothrix schenckii” llamada esporotricosis.

Adicionalmente, en el Anexo B se encuentra el texto proporcionado por la Unidad de Micología, en donde se explican a detalle los aspectos más importantes de la esporotricosis.

## 2.1 Enseñanza de la Micología Médica en México

Existen pinturas encontradas en cuevas, en donde se destaca que los hongos eran usados desde la prehistoria en África y Europa [22]. Estas pinturas muestran a indígenas sosteniendo hongos alucinógenos, o también llamados neurotrópicos, por el efecto que causan sobre la mente al ser ingeridos.

En México, los hongos han sido utilizados por herbolarios y chamanes, desde antes de la conquista española. Y es que, gracias a las propiedades de algunos hongos, es posible prevenir y controlar enfermedades o heridas. En 1552, durante la colonización de México, frailes franciscanos y los indios Martín de la Cruz y Juan Badiano redactaron e ilustraron el “Código de la Cruz-Badiano”, uno de los primeros documentos que aborda los temas de plantas medicinales utilizadas por los indígenas nahuas. En este código no se abordaron temas relacionados con hongos alucinógenos por la creencia de su relación con la “brujería”. Además, los hongos neurotrópicos no son considerados en aplicaciones médicas, por ser considerados una droga.

La micología médica científica en México dio inicio luego de darse a conocer en Europa, a finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Este periodo puede agruparse en 4 épocas:

1. Albores de la micología científica.
2. Primeros reportes clínicos de las micosis.
3. La escuela micológica.
4. La consolidación de la micología médica en México.

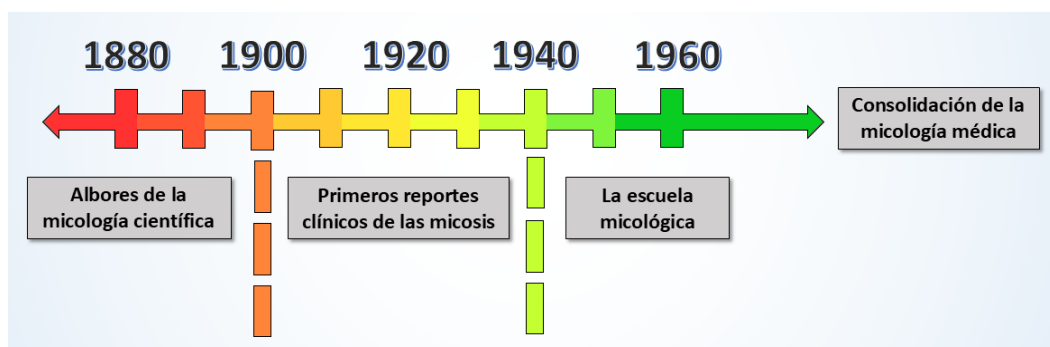


Figura 16. Línea del tiempo de la Micología Médica científica en México.

### Albores de la Micología científica

Esta época abarca las últimas décadas del siglo XIX. En estos años, la primera aportación mexicana estuvo a cargo de Ricardo Cicero, quien utilizó acetato de talio para el tratamiento de la tinea capitis. A pesar de esta valiosa aportación, fueron escasas las contribuciones hacia la micología médica de nuestro país.

### **Primeros reportes clínicos de las micosis**

Esta época abarca las primeras décadas del siglo XX y es en estos años, cuando se llevan a cabo los primeros reportes clínicos de micosis causadas por hongos. Así, el primer caso de esporotricosis fue estudiado por J.P. Gayón y presentado en 1914.

### **La escuela micológica**

Gracias a los avances micológicos en otros países y específicamente en Europa, durante esta época comprendida entre los años 1940 y 1960, se formaron en México varios especialistas en Micología. Y es que algunos de ellos tuvieron la oportunidad de estudiar en el extranjero y volver a México a aplicar sus conocimientos y compartirlos con otros médicos mexicanos.

### **La consolidación de la micología médica en México**

Esta época es considerada a partir de 1960, tiempo en que inició un notable crecimiento y hasta nuestros días, gracias a la creación de instituciones dedicadas al estudio de los hongos. Adicionalmente se imparten cursos de micología a nivel de Licenciatura, Diplomado, Maestría y Doctorado.

En 1967, en la Facultad de Medicina de la UNAM se fundó el Laboratorio de Microbiología, con el fin de impartir clases de micología. Más de 40 años después, en el 2013, el Dr. Enrique Graue Wiechers, entonces director de la Facultad de Medicina transformó una parte del Departamento de Microbiología y Parasitología para crear la Unidad de Micología, formada por siete áreas de trabajo:

- Inmunología de Hongos
- Micología Básica
- Micología Molecular
- Micología Médica, Clínica y Diagnóstico
- Micología Médica, Antifúngicos
- Micología Médica Molecular
- Micología Médica, Epidemiología

Hasta el 2015, la Unidad de Micología había formado a 40 alumnos de maestría, 17 de doctorado, e impartido 10 cursos de Diplomado en Micología Médica con un número aproximado de 250 alumnos. [23]

En México, específicamente en la Ciudad de México, existen laboratorios especializados en la micología, dentro de las siguientes instituciones:

- Instituto Nacional de Referencia Epidemiológica
- Centro Dermatológico “Dr. Ladislao de la Pascua”
- Hospital General “Dr. Manuel Gea González”
- Hospital General de México, S.S.
- Facultad de Medicina, UNAM.

- Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN.
- Hospital de Especialidades, Centro Médico Nacional Siglo XXI, IMSS
- Departamento de Sistemas Biológicos, UAM-Xochimilco
- Laboratorio de Micología Veterinaria, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.
- Laboratorio de Micología, Instituto Nacional de Pediatría
- Laboratorio de Micología, Hospital Infantil de México

## 2.2 Temas abordados en la enseñanza de la medicina en México

Como se mencionó anteriormente, en la Facultad de Medicina de la UNAM, se imparte la materia de “Micología”. Esta asignatura se imparte a los alumnos que cursan el segundo año de la carrera de “Médico Cirujano”. Tiene una duración de 36 horas, repartidas en tres horas de teoría y tres horas de práctica por semana.

En la asignatura de Micología se llevan a cabo ocho prácticas en el Laboratorio de Micología y en las clases Teóricas se exponen los siguientes temas:

- Introducción al estudio de los hongos de importancia médica
- Dermatofitos y dermatofitosis
- Patologías causadas por *Malassezia*
- Esporotricosis
- Cromoblastomycosis
- Eumicetoma
- Micosis sistémicas causadas por hongos patógenos primarios:
  - Histoplasmosis, Coccidioidomycosis, Paracoccidioidomycosis.
- Micosis causadas por hongos oportunistas: Candidosis,
  - Criptococosis, Aspergilosis, Mucormycosis, Neumocistosis.
- Otras patologías causadas por hongos:
  - Micetismo, Micotoxicosis, Alergias.

Estos temas representan la teoría básica de la micología, así como las micosis más frecuentes causadas por hongos. Existen otras micosis importantes, sin embargo, por cuestiones de tiempo y por ser poco frecuentes, no se abordan.

Además de la Facultad de Medicina, existen otras instituciones de la UNAM que imparten asignaturas relacionadas con la micología. Tal es el caso de la Facultad de Ciencias, en donde se imparte la asignatura de “Biología de Hongos” a los alumnos que cursan el tercer semestre de la carrera Biología.

Además, en la Facultad de Química, a los alumnos de cuarto y quinto semestre de la licenciatura “Química Farmacéutico-Biológica”, se les imparten las asignaturas “Microbiología General” y “Microbiología Experimental”, las cuales abordan los temas:

- Características morfológicas y fisiológicas de los hongos: estructura, nutrición y crecimiento.
- Criterios de clasificación e identificación de los hongos.
- Reproducción sexual y asexual de hongos filamentosos y levaduriformes.
- Importancia de los hongos en la industria, en la salud y la ecología. Asociaciones en las que participan.
- Cultivo de hongos. Técnicas de siembra en medios selectivos. Observación macroscópica y microscópica del crecimiento
- Preparaciones a partir de cultivos axénicos para la observación microscópica de hongos filamentosos y levaduriformes.
- Integración, análisis de resultados y conclusiones.

## 2.3 Enfermedades causadas por hongos

Existen aproximadamente 1,300,000 especies de hongos en el planeta, sin embargo, sólo unas 250 pueden ocasionar enfermedades a los humanos. Estas enfermedades se clasifican en tres tipos:

- Alergias: Ocurren cuando el hongo es inhalado o entra en contacto con la piel, provocan hipersensibilidad.
- Intoxicaciones: Ocurren por ingestión de toxinas o de hongos macroscópicos.
- Micosis: Ocurren cuando un hongo microscópico parasita tejidos superficiales o profundos.

A su vez, las micosis se clasifican en cuatro grupos, dependiendo de los tejidos que afectan o la condición inmunológica del paciente:

- Superficiales: Son las micosis más frecuentes; se adquieren por contacto directo del humano con el hongo infectante; son más fáciles de tratar.
- Subcutáneas: Son micosis con alta incidencia en zonas rurales, su mecanismo de infección es por inoculación y pueden llegar a ser de evolución crónica.
- Sistémicas: Son micosis que se adquieren por inhalación por lo que el primer órgano afectado es el pulmón y tienden a diseminarse a otros órganos incluyendo la piel; cuando no son diagnosticadas a tiempo, el tratamiento es difícil.
- Oportunistas: Son micosis que afectan a personas inmunocomprometidas. Estas micosis en general son graves y frecuentemente causan la muerte. [24]

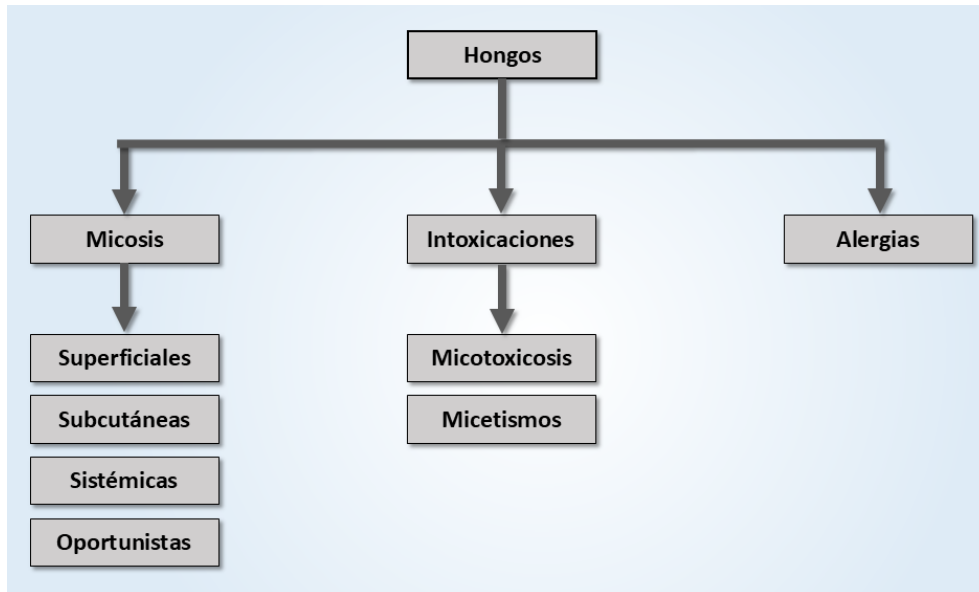


Figura 17. Clasificación de las enfermedades causadas por hongos.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), esta es la clasificación de las enfermedades provocadas por los hongos. [22]

### 2.3.1 Esporotricosis

La esporotricosis es la micosis subcutánea más frecuente en nuestro país. Esta micosis también es llamada “La enfermedad del jardinero”, por su frecuencia con que estas personas son infectadas por el hongo cuando sufren una picadura con las espinas de rosa, pero también es muy frecuente en personas que habitan en zonas rurales y zonas con abundante vegetación. Esta enfermedad es causada por varios hongos pertenecientes al género *Sporothrix*. Aunque existen diversas especies, *Sporothrix schenckii* es la más frecuente en México.

Este hongo es considerado como un “hongo dimórfico”, lo que significa que en la naturaleza tiene una forma filamentosa (formada por hifas y conidios), y una vez que infecta al paciente, adquiere una forma unicelular llamada levaduriforme.

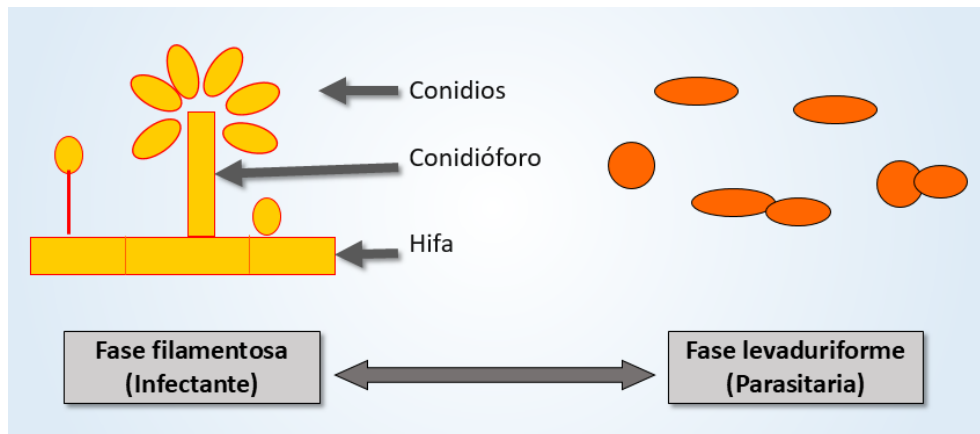


Figura 18. Fases del hongo "Sporothrix schenckii".

Del lado izquierdo de la imagen podemos observar al hongo en su forma filamentosa, mientras que del lado derecho se presenta en su forma levaduriforme.

Los mecanismos por los que *Sporothrix schenckii* puede infectar al paciente, son:

- Inoculación traumática: Ocurre cuando el hongo penetra a través de heridas en la piel con objetos punzocortantes contaminados con el hongo.
- Inhalación: Ocurre cuando se respiran los conidios del hongo y estos llegan a los pulmones.

Una vez que el hongo ha infectado al paciente, la esporotricosis puede manifestarse de tres maneras, dependiendo de la extensión o localización de la lesión:

- Linfangítica (el hongo sigue el trayecto de los vasos y ganglios linfáticos, característica de las especies de *Sporothrix*).
- Fija (la lesión permanece más o menos localizada en el sitio de inoculación del hongo).
- Multifocal o diseminada (las lesiones se distribuyen prácticamente en toda la superficie corporal).

Cuando se confirma que el paciente está infectado por *Sporothrix schenckii*, el médico indica un tratamiento antifúngico. Para este tratamiento, lo más común es el yoduro de potasio, o en su defecto, itraconazol por vía bucal y por el tiempo que el médico considere que el paciente ha curado.

Para prevenir cualquier enfermedad, y en particular para el caso de la esporotricosis, a las personas que están en contacto con la vegetación, se les recomienda utilizar protecciones como guantes, botas, lentes y cubrebocas. De esta manera, se reduce la posibilidad de que el hongo infecte cualquier parte del cuerpo.





## Capítulo 3

### Aplicación MiRA

---

El acrónimo “MiRA”, surge de las palabras “Micología con Realidad Aumentada”; se trata de una aplicación que implementa RA como una herramienta para la enseñanza y aprendizaje autodidacta de temas específicos de la micología médica. En esta versión del software, se parte de un tema enfocado al estudio de la micosis provocada por el hongo *Sporothrix schenckii*.

El proyecto MiRA se origina debido al interés de profesores del Departamento de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Medicina, por el desarrollo de nuevas e innovadoras herramientas de enseñanza, para que los alumnos cuenten con elementos suficientes para el estudio de la micología dentro y fuera del aula. Por ello, la aplicación está diseñada para que el usuario pueda hacer uso de su dispositivo móvil y/o Tablet, de manera que no tenga la necesidad de llevar consigo un libro, cuaderno, o requiera de alguna conexión a Internet para aprender los conceptos básicos de la esporotricosis.

Para el desarrollo de la aplicación MiRA se aplicó una versión adaptada de la metodología de desarrollo “Scrum”, dado que se realizaron iteraciones entre las diferentes etapas de desarrollo: análisis, diseño, implementación, hasta llegar a la validación controlada con usuarios; además de recibir asesoría por parte del Departamento de Microbiología y Parasitología para asuntos específicos del contenido.

## 3.1 Análisis

El análisis de la aplicación se llevó a cabo mediante entrevistas con profesores del Departamento de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Medicina de la UNAM y la Facultad de Ingeniería, para definir las necesidades, objetivos, alcances y tiempo de desarrollo. Como resultado de estas entrevistas, se levantaron los siguientes requerimientos específicos:

- La aplicación tratará el tema de la Esporotricosis.
- La aplicación incluirá los siguientes subtemas de la Esporotricosis:
  - Datos históricos
  - Mecanismo de infección
  - Patogenia y formas clínicas
  - Diagnóstico de laboratorio
  - Tratamiento
  - Prevención
- Se partirá de un guion elaborado por una profesora experta en el tema, perteneciente al Departamento de Microbiología y Parasitología, en donde se explique cada uno de los subtemas de la Esporotricosis.
- La aplicación representará de manera gráfica las ideas principales del guion.
- Los alumnos podrán reproducir los subtemas de forma continua, o elegir un subtema específico.
- La aplicación deberá incluir la explicación de la Esporotricosis usando audios.
- La aplicación debe ser capaz de ejecutarse en cualquier lugar, incluso si se cuenta con poca iluminación.
- La aplicación deberá contar con un tutorial para que el usuario comprenda su funcionamiento.
- Durante el desarrollo de la aplicación, se mantendrá comunicación con el Departamento de Microbiología y se notificarán los avances de la aplicación, con el fin de realizar a tiempo las correcciones necesarias.
- Se deberá entregar una versión funcional para el mes de noviembre del 2018, que corresponde al inicio del curso de “Micología”, para ser validada por los alumnos.

Una vez definidos los requisitos iniciales, se llevó a cabo el diseño de la aplicación.

## 3.2 Diseño

La etapa de diseño fue un paso importante previo al desarrollo, y es que se llevó a cabo una definición detallada de la estructura general del sistema, sus elementos funcionales y su arquitectura a nivel de software y hardware con base en los requerimientos de la etapa de análisis. Se generó como primer paso un documento que en informática se conoce como “Caso de uso”, el cual consistente en la especificación de flujos en un escenario de funcionamiento real.

### 3.2.1 Caso de uso

Se elaboró el Caso de Uso “Funcionamiento General del Sistema MiRA”, en donde se especifica con detalle los actores, las funciones que llevan a cabo los actores, precondiciones y flujos funcionales. A continuación se presenta el Caso de uso “Funcionamiento General del Sistema MiRA”.

Tabla 1. Casos de uso de la aplicación MiRA.

Caso de Uso	Funcionamiento General del Sistema “MiRA”
Actores participantes	<b>Usuario, Sistema MiRA.</b>
Breve descripción	En el presente documento se describen los distintos flujos que existen en el sistema MiRA, además se especifican los requisitos necesarios para instalar y ejecutar la aplicación.
Precondiciones	<p><b>Para la instalación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· El dispositivo móvil debe tener como Sistema Operativo Android 4.0 o superior.</li> <li>· El dispositivo móvil debe contar con al menos 90 MB libres para el almacenamiento de la aplicación.</li> </ul> <p><b>Del proceso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· La aplicación debe encontrarse instalada en el dispositivo móvil.</li> </ul>
Flujo principal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario ejecuta la aplicación MiRA desde el menú de aplicaciones.</li> <li>2. El usuario selecciona la opción “Esporotricosis” y el sistema lo envía al “Menú de Esporotricosis”. Flujos alternos <b>[A-1]</b> <b>[A-2]</b></li> <li>3. El usuario selecciona un subtema y el sistema lo envía a la escena del subtema seleccionado.</li> <li>4. El usuario toma la foto con la barra de calidad en amarillo o verde y el sistema inicia la explicación del subtema. Flujos alternos <b>[A-3]</b> <b>[A-4]</b> y excepción <b>[E-1]</b></li> <li>5. Finaliza la explicación y el usuario puede: <ul style="list-style-type: none"> <li>Repetir la explicación. Flujo alternativo <b>[A-5]</b></li> <li>Retroceder al subtema anterior. Flujo alternativo <b>[A-6]</b></li> <li>Avanzar al subtema siguiente. Flujo alternativo <b>[A-7]</b></li> </ul> </li> </ol> <p>Termina el Caso de Uso.</p>

<p>Flujos Alternos</p>	<p><b>A-1.</b> El usuario selecciona la opción "Tutorial" y el sistema presenta, una por una, 10 imágenes que explican el funcionamiento de la aplicación. El usuario puede seleccionar la opción "Volver al Menú", desde la décima imagen.</p> <p><b>A-2.</b> El usuario selecciona la opción "Acerca de..." y el sistema presenta los datos y créditos de la aplicación.</p> <p><b>A-3.</b> El usuario presiona el ícono azul de flash para activar/desactivar el flash.</p> <p><b>A-4.</b> El usuario presiona el ícono verde de la cámara para volver a tomar una foto y la explicación se reinicia.</p> <p><b>A-5.</b> El sistema reinicia la explicación sin necesidad de volver a tomar otra foto.</p> <p><b>A-6.</b> El sistema retrocede al subtema anterior y solicita tomar otra foto.</p> <p><b>A-7.</b> El sistema avanza al subtema siguiente y solicita tomar otra foto.</p>
<p>Flujos de Excepción</p>	<p><b>E-1.</b> El usuario toma la foto con la barra de calidad en rojo y la aplicación envía el mensaje "Imagen con baja calidad". La aplicación permite cualquier cantidad de intentos para tomar una foto con buena calidad.</p>

### 3.2.2 Especificación de software

Es necesario contar con los casos de uso para facilitar la comprensión del funcionamiento y estructura del sistema. A partir del caso de uso, se identificó el software y el hardware necesarios para la implementación.

Los requerimientos de software identificados fueron: software para modelado 3D, software para edición de imágenes, software para edición de audio, motor de visualización, SDK de realidad aumentada, sistema operativo y entorno de desarrollo para programación orientada a objetos.

Se analizaron las opciones que existen actualmente en el mercado para establecer las paqueterías de software disponibles con base en su facilidad de uso, experiencia en el manejo, disponibilidad para la plataforma de desarrollo, licencias de uso y comercialización, así como el costo, siendo este último un factor preponderante. Por tanto, se decidió utilizar los siguientes programas:

Tabla 2. Requerimientos de software.

Requerimiento	Paquete
Modelado 3D	Blender y MakeHuman
Edición de imágenes	Gimp
Edición de audio	Audacity
Motor Gráfico	Unity
SDK para RA	Vuforia
Entorno de desarrollo	MonoDevelop/gcc
Sistema operativo	Windows, Android

### Blender

Blender es un entorno para el modelado 3D y animación digital, perteneciente a la “Blender Foundation”, una corporación holandesa sin fines de lucro, conformada por un equipo de programadores, artistas, animadores y productores alrededor del mundo, todos unidos por el propósito de desarrollar y promover un software gratuito y de código abierto capaz de crear entornos gráficos y animaciones de alta calidad.

Blender proporciona las facilidades para el desarrollo entero del pipeline 3D: modelar, animar, simular, renderizar, crear, editar, hacer scripts, entre otras cosas. Además, es un software gratuito con licencia “GNU General Public License (GPL)”, por lo que se puede usar para cualquier propósito.

Otro de sus beneficios, es que es un software multiplataforma. Esto quiere decir que se puede ejecutar de igual manera en Windows, Mac o Linux. Como consecuencia tenemos un software más accesible. [25]

### MakeHuman

MakeHuman es un software gratuito que facilita el desarrollo y personalización de modelos humanos tridimensionales, gracias a su interfaz, basta con ajustar ciertos parámetros como edad, género, altura, peso, entre otros, a un valor deseado, para obtener el modelo humano con los rasgos deseados. MakeHuman cuenta con la licencia GNU Affero General Public License AGPL. [26]

### Gimp

Gimp es un programa de edición y retoque de gráficos en 2D, desarrollado en 1995 por Peter Mattis y Spencer Kimball en la Universidad de California. Es un software de uso

libre, con una alta usabilidad y entre sus funciones principales permite editar imágenes, retocar fotografías, pintura digital, diseño gráfico, etc. [27]

### **Audacity**

Audacity es un software que permite editar y grabar audio de múltiples pistas. Al igual que el software anterior, Audacity es gratuito, desarrollado por voluntarios y distribuido bajo la licencia “GNU General Public License (GLP)”. Otra de sus características es su compatibilidad con Windows, Linux y Mac OS X. Audacity acepta formatos WAV, AIFF, FLAC, MP2 y MP3. Por último, se consideró el uso de Audacity en la aplicación, gracias a su fácil manejo e interfaz amigable.

### **Unity**

Unity es un motor de videojuegos multiplataforma, compatible con los sistemas operativos Windows, Linux y Mac, que en sus últimas versiones permite la integración de SDK's como Vuforia para generar aplicaciones con Realidad Aumentada. Cuenta con tres tipos de licencias:

- Personal: Es una licencia gratuita que se ofrece a todos aquellos que no generen más de \$100,000 USD al año. Esta opción no incluye soporte adicional, tutorías ni servicios.
- Plus: Es una licencia con valor de \$25 USD al mes, con un año de prepago, o bien \$35 USD por mes. Esta licencia incluye un año de acceso gratuito a cursos de Unity, además de 25GB de almacenamiento en la nube de Unity.
- Pro: Es una licencia con un costo de \$125 USD al mes y ofrece todos los beneficios con los que cuenta Unity. [28]

La licencia con la que se trabajó es una licencia de tipo “Personal”, dado que la aplicación fue desarrollada por un alumno y la aplicación no genera ingresos. Se eligió este software por la licencia, el fácil manejo y la gran cantidad de funciones que maneja, entre ellas la capacidad de trabajar con Realidad Aumentada.

### **Vuforia**

Vuforia es un Kit de Desarrollo (SDK) que permite desarrollar aplicaciones de Realidad Aumentada compatibles con múltiples dispositivos móviles, HMD o gafas de RA, bajo los términos de licencia de PTC Inc., teniendo tres modalidades de licenciamiento: Classic, Cloud (dirigida a empresas que generan menos de \$10 millones de dólares) y Pro. Uno de los avances más importantes para Vuforia, fue su integración a Unity. Esto facilita el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada para dispositivos con Android e iOS.

Vuforia trabaja con un sistema de seguimiento basado en marcadores llamados “Image Targets”, los cuales pueden ser imágenes 2D, cubos, cilindros u objetos tridimensionales. Los *targets* se registran manualmente en la plataforma Web destinada por el equipo de desarrollo de Vuforia, donde el marcador es procesado y calificado como

apto o no apto para una aplicación de RA, pues estos elementos actúan como activadores del contenido virtual. [29]

### **Monodevelop**

Monodevelop es un entorno de desarrollo integrado (IDE) gratuito y diseñado principalmente para programación en lenguaje C#. Al igual que la mayoría de los paquetes de software antes descritos, Monodevelop es multiplataforma, compatible con los sistemas operativos Windows, Linux y iOS. Una de sus ventajas es que puede descargarse junto con Unity, ya que este último lo incorpora por defecto.

### **3.2.3 Especificación de hardware**

Para poder llevar a cabo la implementación de la aplicación, los requerimientos de hardware identificados fueron:

- Computadora con SO Windows y todo el software necesario instalado.
- Cámara Web conectada a la computadora para depuración.
- Dispositivo móvil para pruebas con:
  - Sistema Operativo Android 4.0 o superior.
  - Al menos 90 MB de memoria interna libres para el almacenamiento y ejecución de la aplicación.

## **3.3 Implementación**

La implementación de la aplicación se llevó a cabo por módulos y algunos de estos módulos se realizaron a la par del diseño.

En primer lugar, se llevó a cabo el diseño de la estructura que tendría la aplicación, esto involucra a las escenas que la conformarán. Para esto, el Departamento de Microbiología y Parasitología proporcionó un texto en donde se explican los seis subtemas que contiene la aplicación, acerca de la esporotricosis. De este texto, se seleccionaron las ideas principales, estas ideas se presentaron en la aplicación con modelos virtuales y algunas animaciones. Finalmente se concentró todo el material, incluyendo imágenes, modelos, animaciones, audios y scripts en Unity para generar la aplicación. A continuación se describe cada uno de estos procesos.

### **3.3.1 Escenas en Unity**

De acuerdo con el funcionamiento de la aplicación se definieron 10 escenas, enlistadas a continuación:

- Menú principal
- Tutorial

- Acerca de...
- Menú de esporotricosis
  - Historia
  - Mecanismo de infección
  - Patogenia y formas clínicas
  - Diagnóstico de laboratorio
  - Tratamiento
  - Prevención

La Figura 19 muestra la manera en la que estas escenas se presentan y se relacionan entre sí.

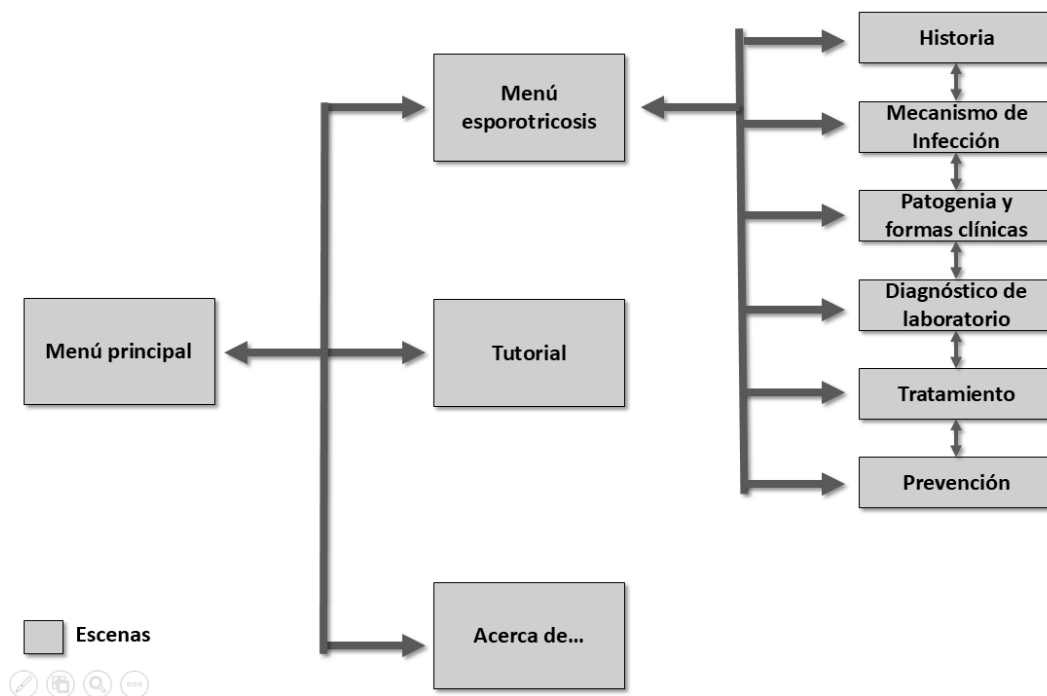


Figura 19. Diagrama de escenas de la aplicación "MiRA".  
Se describe la navegación entre las escenas de la aplicación "MiRA".

Uno de los principales factores en el diseño de una aplicación, es la orientación que tendrá al momento de ser utilizada. Es por esto que se llevó a cabo una encuesta en redes sociales para conocer la opinión de los estudiantes sobre qué orientación es más práctica. Como resultado de esta encuesta, en dónde se preguntó a estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, ¿qué orientación en la pantalla consideran más apropiada para una aplicación de este tipo? Se obtuvieron 49 respuestas, de las cuales 45 contestaron "Vertical" y únicamente 4 alumnos optaron por la opción "Horizontal" (Ver Figura 20). Por lo que se concluyó que la posición más adecuada para la aplicación es la posición vertical, o también llamada "Portrait".



## PREFERENCIA DE ORIENTACIÓN

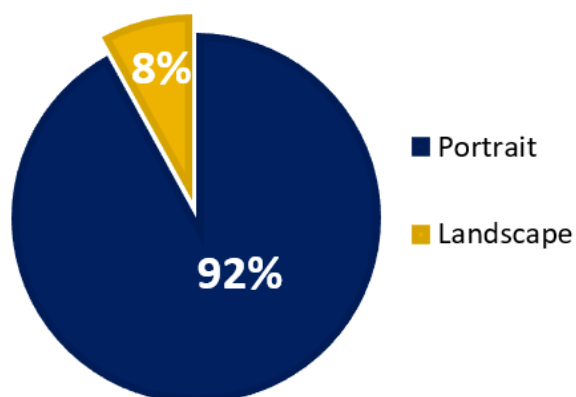


Figura 20. Preferencia de orientación para aplicaciones.

En la gráfica se describe el porcentaje de alumnos que prefieren utilizar aplicaciones con orientación vertical vs aquellos que prefieren una orientación horizontal.

Con el fin de crear vínculos de pertenencia entre la aplicación MiRA y la comunidad de la Facultad de Medicina, se decidió incorporar elementos característicos de esta Facultad. Por este motivo se incluyó como fondo de la aplicación una imagen del mural “La vida, la muerte, el mestizaje y los cuatro elementos” del ilustrador Francisco Eppens. Esta imagen fue tomada del Instagram de la Facultad de Medicina, con autorización del administrador; se llevó a cabo una ligera edición para adecuarla a la aplicación (Ver Figura 21-A).

La edición de la imagen de fondo se realizó con el software Gimp (versión 2.10.2). Una vez adaptada la imagen a las dimensiones adecuadas, se agregaron los botones necesarios para esta escena, dando como resultado la escena del Menú principal (Ver Figura 21-B).

La escena correspondiente al tutorial contiene una breve explicación de cómo se utiliza la aplicación. Este contenido se explica más a detalle en el Anexo A.

Para la escena de “Acerca de...”, se ocultó el canvas del menú principal y en su lugar se colocó otro que contiene los créditos de la aplicación (Ver Figura 21-C).

Finalmente se tiene la opción de “Esporotricosis”, la cual enlaza al menú que contiene los seis subtemas de la esporotricosis (Ver Figura 21-D).



Figura 21. Escenas de la aplicación MiRA.

- A) Imagen de fondo de la aplicación MiRA, tomada desde el Instagram de la Facultad de Medicina.
- B) Captura de pantalla de la escena "Menú Principal".
- C) Captura de pantalla de la escena "Acerca de..."
- D) Captura de pantalla de la escena "Menú esporotricosis".

Para cada una de las escenas de los subtemas, se elaboraron bocetos a partir de las ideas principales extraídas del texto proporcionado por el Departamento de Microbiología y Parasitología [Anexo B]. Por ejemplo, para los datos históricos, se elaboró el boceto que se observa en la Figura 22, en donde se representan las ideas principales del subtema "Historia".

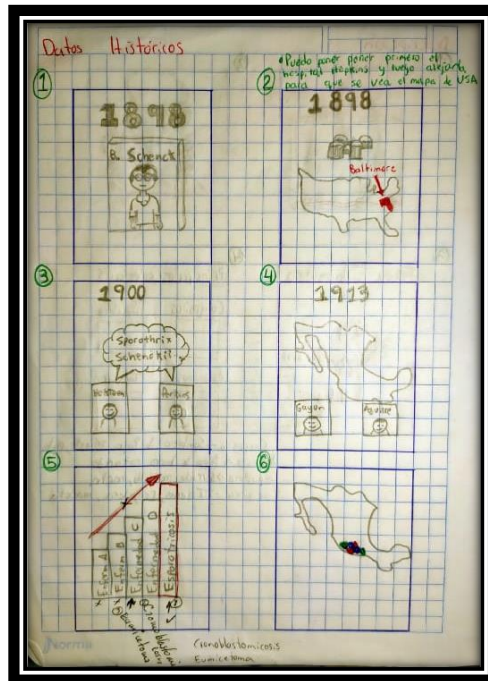


Figura 22. Boceto para realizar una escena

Antes de llevar a cabo el modelado de los objetos tridimensionales, se realizaron bocetos que contienen los elementos que se iban a desplegar en cada escena. En esta imagen se observa el boceto de la escena "Historia".

A partir de estos bocetos se generaron los modelos tridimensionales en Blender y MakeHuman, y se acoplaron con un audio (explicado más adelante en este capítulo). De esta manera los modelos se presentan en la pantalla del dispositivo móvil, conforme se da la explicación por medio del audio.

Para las escenas correspondientes a los subtemas, se creó una plantilla que está conformada por los siguientes elementos:

- Cámara de RA
- Marcador definido por el usuario (UDT)
  - Modelos
  - Audios
- Interfaz Común
  - Barra de título
  - Botón para volver a escena anterior
  - Manejador de errores
  - Menú de opciones
- Interfaz del constructor de marcadores
  - Botón para tomar foto
  - Botón para refrescar escena
  - Botón para activar/desactivar flash
  - Barra de calidad
  - Mensaje de error de calidad

- Canvas de fin
  - Botón para repetir subtema
  - Botón para adelantar subtema
  - Botón para regresar subtema
- Administrador de escenas

Estos elementos se mantienen constantes en todas las escenas de los seis subtemas, a excepción de los modelos, audios y títulos; que cambian de acuerdo con el subsistema que se va a explicar.

### 3.3.2 Modelado

La mayor parte del modelado se llevó a cabo en Blender (versión 2.79b). Los modelos de humanos se diseñaron en MakeHuman (versión 1.1.1). A partir de los bocetos realizados para cada subtema, se generaron los modelos de las ideas principales. Una vez modelados todos los elementos que representan una idea principal, se exportaron los modelos como archivos Filmbox (FBX); de esta manera todo el contenido del modelo (materiales, texturas, luces, etc.) que representa una idea principal, se concentró en un solo archivo FBX.

Posteriormente, los modelos se importaron desde Unity para ser integrados en sus respectivas escenas. En la Figura 23 se representa el proceso que siguieron todos los modelos durante su desarrollo.

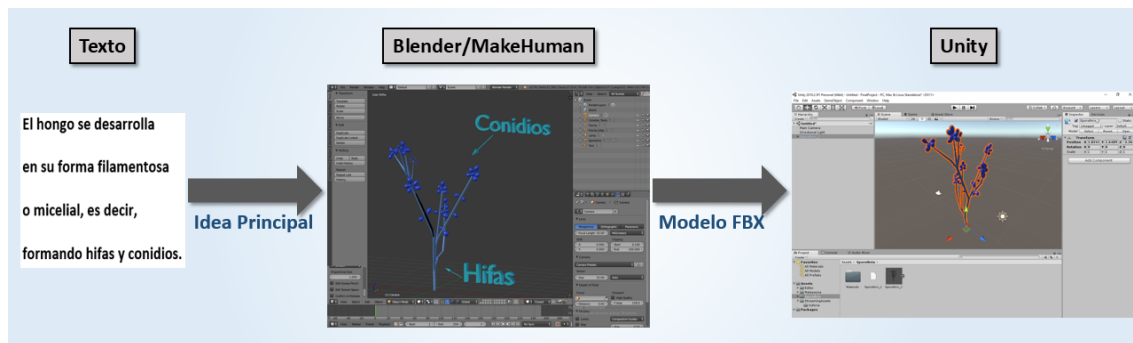


Figura 23. Proceso de desarrollo de un modelo 3D.

La primera etapa corresponde a la extracción de ideas principales, en la segunda etapa se modelaron y para la tercera etapa se importaron desde Unity para trabajar con el modelo.

### 3.3.3 Animación

El proceso de animación se llevó a cabo de manera similar al modelado, con la diferencia de que las animaciones se desarrollaron a partir de las ideas principales que requerían movimiento en los modelos. En este caso, se llevó a cabo el modelado y además a estos modelos se les agregaron animaciones desde Blender.

La animación en Blender, es por medio de frames, esto facilita y agiliza el proceso de animación. Basta con grabar cada uno de los keyframes para obtener la animación. Una vez que se grabaron todos los keyframes de la animación, se exportó todo como un archivo FBX y se importó desde Unity, al igual que los modelos normales.

### **3.3.4 Audio**

El audio utilizado en la aplicación se grabó en el laboratorio audiovisual de la Facultad de Ciencias Políticas de la UNAM, por el M. en C. José Luis Camacho Cardoso y el técnico académico del laboratorio Armando García Becerra. Este audio consiste en la grabación de la lectura del texto proporcionado por la Unidad de Micología [Anexo B]. La duración total del audio es de 10:08 minutos y con ayuda del software Audacity (versión 2.2.2), se dividió en módulos más pequeños, separados en las ideas principales obtenidas en procesos anteriores. De esta manera se cuenta con un audio para cada idea principal. El propósito de tener un audio para cada idea principal es que, al integrarlo con los modelos tridimensionales, a cada audio le corresponda un modelo.

Se generaron 43 audios con formato WAV. Se trabajó con este formato de audio, ya que las modificaciones o compresiones son prácticamente nulas, brindando una mayor calidad de audio.

### **3.3.5 Realidad Aumentada Con Unity y Vuforia**

Como se describió en el capítulo 1, para trabajar con Realidad Aumentada, es necesario contar con 4 elementos básicos:

- Elementos de entrada
- Elemento activador
- Elemento de procesamiento
- Elemento de salida

Para la aplicación MiRA, se utilizó como elemento de procesamiento el software “Vuforia”, un SDK que permite el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada.

A partir de la versión 2017.2 de Unity, se incorporó la posibilidad de trabajar con Vuforia. Para poder trabajar con Vuforia desde Unity, basta con marcar la opción de su instalación, al instalar Unity.

Como elemento activador, se trabajó con marcadores. Vuforia permite el reconocimiento de marcadores, que pueden ser imágenes, cilindros, cubos u objetos tridimensionales específicos.

Para la aplicación MiRA, se utilizaron imágenes como marcadores. Estas imágenes son generadas por el usuario, por medio de la cámara del dispositivo móvil, la cual permite tomar una fotografía, que será almacenada como un marcador. De esta manera, cuando la cámara del dispositivo (elemento de entrada) reconoce los elementos tomados en la fotografía (marcador/elemento activador), se despliegan los elementos virtuales en el display (elemento de salida) del dispositivo móvil.

Vuforia cuenta con un script predeterminado, nombrado "DefaultTrackableEventHandler", el cual se adjunta por default a un "ImageTarget" (marcador). En este script predeterminado, se controlan las acciones a ejecutar, según el estado en que se encuentre el marcador. Los métodos más utilizados, son:

- OnTrackingFound: contiene las acciones a ejecutar, cuando el marcador es encontrado por los dispositivos de entrada.
- OnTrackingLost: contiene las acciones a ejecutar, cuando el marcador no es visto por los dispositivos de entrada.
- OnTrackableStateChanged: contiene las acciones a ejecutar, cuando el estado del marcador cambia

Es posible crear un script personalizado, que contenga estos métodos para controlar el comportamiento del marcador y el renderizado de los elementos virtuales.

Se desarrolló un script que cuenta con funciones de control para el marcador, el despliegue de los modelos virtuales y la reproducción del audio. La Figura 24 muestra el diagrama de flujo que describe el funcionamiento del script "ControlTarget". Posteriormente se describen los métodos principales, que permiten trabajar con Realidad Aumentada.

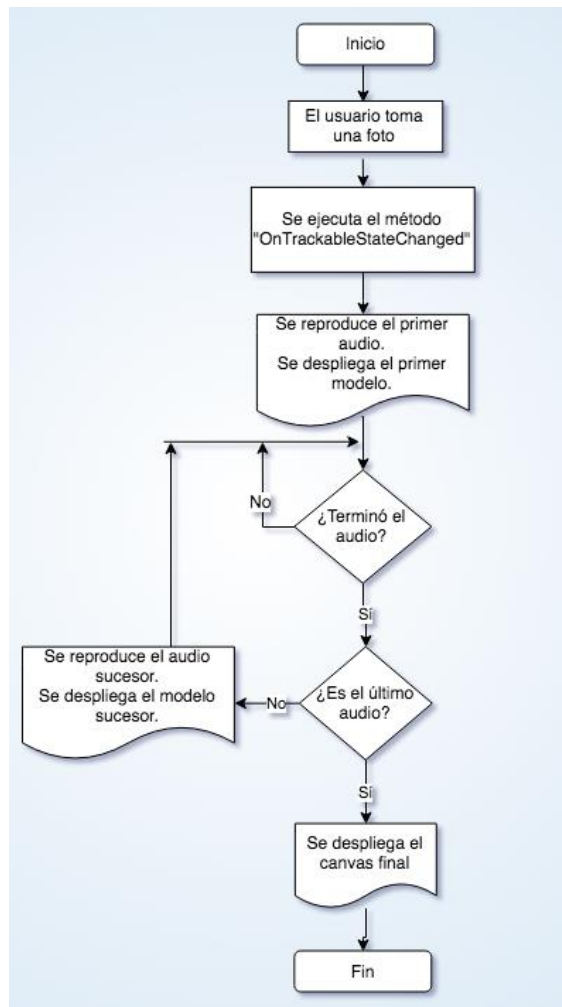


Figura 24. Diagrama de flujo del script "ControlTarget".

Se describe el flujo que permite el script, desde que el usuario toma la foto, hasta que termina la explicación.

## OnTrackableStateChanged

Este método se ejecuta cada que hay un cambio en el estado del marcador. En el script se condiciona para que se ejecute únicamente cuando el usuario toma la foto y el marcador es detectado.

```

public void OnTrackableStateChanged(
    TrackableBehaviour.Status previousStatus,
    TrackableBehaviour.Status newStatus)
{
    if (newStatus == TrackableBehaviour.Status.DETECTED ||
        newStatus == TrackableBehaviour.Status.TRACKED ||
        newStatus == TrackableBehaviour.Status.EXTENDED_TRACKED)
    {
        // When target is found for the first time, the explanation starts
        if (firstTime)
            StartScene ();
    }
}
  
```

```
}  
}
```

## StartScene

El método StartScene:

- Deshabilita la barra de calidad y el botón de cámara.
- Habilita el botón que permite volver a tomar la foto.
- Reproduce el primer audio y pausa los demás.
- Despliega el primer modelo y deshabilita los demás.
- Asegura que sólo se ejecute una vez, durante la explicación de un subtema.

```
public void StartScene() {  
    // when target is found  
    if (!enterTarget) {  
        qualityMeter.SetActive(false);  
        cameraButton.SetActive(false);  
        refreshButton.SetActive(true);  
  
        // Play first audio  
        Transform child_audio = audioPadre.transform.GetChild(0);  
        AudioSource childAudio = child_audio.GetComponent<AudioSource>  
();  
        childAudio.Play ();  
  
        // Pause all audios, except the first  
        for (int i = 0; i < audioPadre.transform.childCount; i++)  
        {  
            child_audio = audioPadre.transform.GetChild(i);  
            string childName = child_audio.gameObject.name;  
            int parsedLabel = int.Parse(childName.Split('_')[0]);  
            if (parsedLabel != firstIntLabel)  
                child_audio.GetComponent<AudioSource>().Pause();  
        }  
  
        //Display first model  
        Transform child = model.transform.GetChild(0);  
        child.gameObject.SetActive (true);  
  
        // Disable all models except the first  
        for (int i = 0; i < model.transform.childCount; i++)  
        {  
            child = model.transform.GetChild(i);  
            string childName = child.gameObject.name;  
            int parsedLabel = int.Parse(childName.Split('_')[0]);  
            if (parsedLabel != firstIntLabel) {  
                child.gameObject.SetActive (false);  
            }  
        }  
  
        currentIndex = 1;  
    }  
}
```



```

        // To ensure that it only runs once
        enterTarget = true;
    }
}

```

## Update

El método “Update” es ejecutado una vez por cada frame. Aprovechando esta constante ejecución, en este método se verifica que exista un audio en reproducción. En caso de que el audio termine, se ejecuta el método “SwapModels”.

## SwapModels

Este método permite cambiar los modelos cada que termina el audio que los describe. Además, se asegura de desplegar el canvas final, una vez que el último audio termina de reproducirse.

```

void SwapModels(int direction)
{
    // Increase current index
    currentIndex += direction;

    // Verify last label
    if (currentIndex > lastIntLabel)
    {
        //Call a function to display finish buttons
        finishCanvas.SetActive (true);
        currentIndex = 0;
    }
    else {
        // Enable current index models
        for (int i = 0; i < model.transform.childCount; i++) {
            Transform child = model.transform.GetChild (i);
            string childName = child.gameObject.name;
            int parsedLabel = int.Parse (childName.Split ('_') [0]);
            if (parsedLabel == currentIndex) {
                child.gameObject.SetActive (true);
            }
            else
                child.gameObject.SetActive (false);
        }

        // Play the current index audio
        for (int i = 0; i < audioPadre.transform.childCount; i++) {
            Transform child = audioPadre.transform.GetChild (i);
            string childName = child.gameObject.name;
            int parsedLabel = int.Parse (childName.Split ('_') [0]);
            if (parsedLabel == currentIndex)
                child.GetComponent<AudioSource> ().Play ();
            else
                child.GetComponent<AudioSource> ().Pause ();
        }
    }
}

```

}

### 3.3.6 Generación del archivo APK

Finalmente, se incorporaron todos los elementos descritos durante el proceso de desarrollo, en un proyecto de Unity. Cada elemento con las características y funciones especificadas durante este capítulo.

**Nota:** Es importante que el proyecto se encuentre configurado para trabajar con Vuforia. Esto se hace activando el soporte para Realidad Aumentada del menú “Player Settings”, como se muestra en la Figura 25. Además, es necesario tener instalado el kit de desarrollo de software para Android “Android SDK”, el cual se puede descargar de manera gratuita al instalar Unity.

Para generar un APK (Android Application Package) desde Unity, basta con ingresar al menú de “Build Settings”, elegir la plataforma “Android” y dar clic en “Build”. De esta manera podremos instalar la aplicación en dispositivos móviles que cuenten con Android.

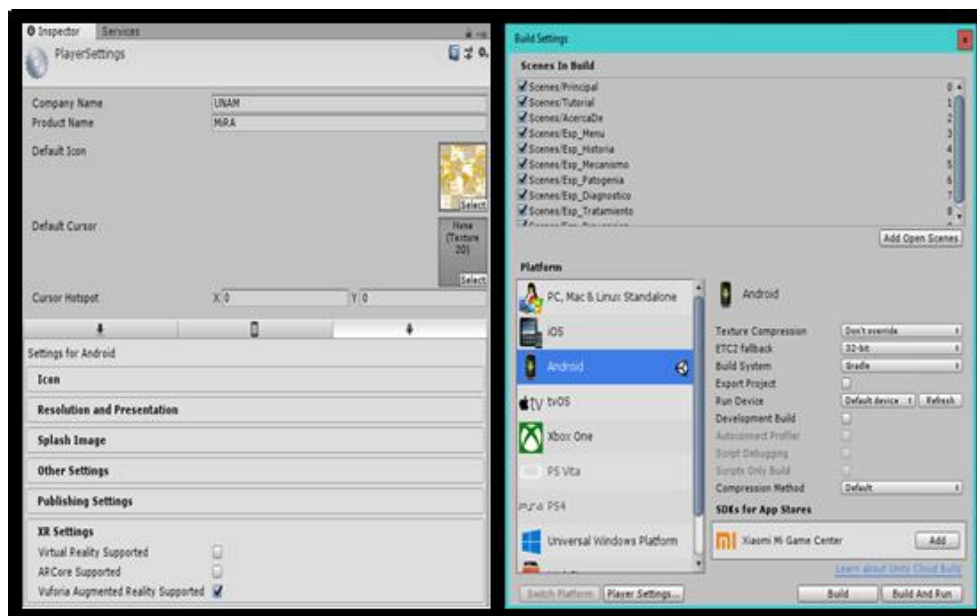


Figura 25. Generación del archivo APK.

Del lado izquierdo se presenta la activación de la opción “Vuforia Augmented Reality Supported”, mientras que del lado derecho se presenta la selección de la opción “Android” como plataforma.

### 3.3.7 Pruebas técnicas

Las pruebas técnicas se ejecutaron a la par del desarrollo de la aplicación, desde la ventana "Game" incorporada en Unity; esta ventana permite ejecutar tu proyecto desde la computadora y de esta manera simular que se ejecuta desde un dispositivo móvil. Basta con que la computadora cuente con una cámara y se ajuste a una resolución deseada (Ver Figura 26). Las pruebas elaboradas desde la ventana "Game" de Unity se realizaban cada que se añadían modelos, audios o elementos con un mínimo impacto en la funcionalidad de la aplicación, de esta manera las correcciones de tamaño o posición se realizaban de manera más rápida. Sin embargo, cuando se acumulaban varios elementos de este tipo o se añadían elementos con mayor funcionalidad, se descargaba el APK en dispositivos móviles para hacer las pruebas.

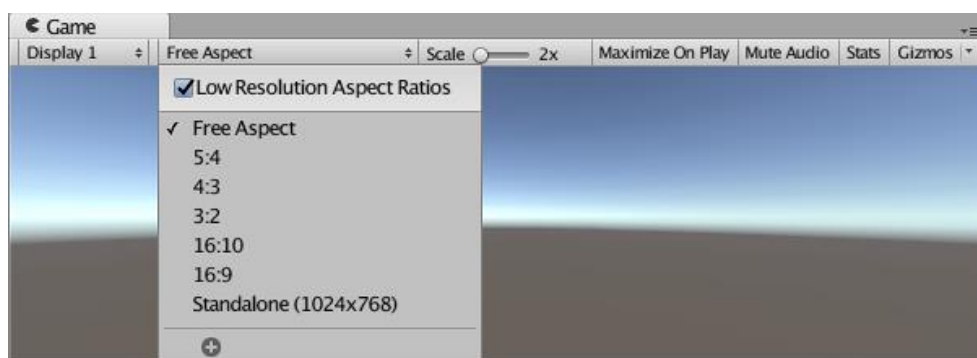


Figura 26. Ventana "Game" de Unity.

Imagen obtenida de la página oficial de Unity. (<https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/GameView.html>)

Se llevaron a cabo pruebas con diferentes dispositivos móviles, procurando que variaran sus resoluciones de pantalla, así como la resolución en sus cámaras. De esta manera se confirmó que una cámara con mayor resolución, presenta una mayor estabilidad al momento de desplegar los elementos 3D. Además, se probaron diferentes tipos de marcadores y se confirmó que al tomar fotos a objetos 3D y utilizarla como marcador, provoca inestabilidad en la posición del despliegue de los modelos virtuales. Es por esto que se decidió agregar en el tutorial (Anexo A) una indicación que explicara el por qué es preferible utilizar objetos planos como marcadores.

El primer módulo funcional que se probó de manera independiente fue el UDT, y una vez que se tenía funcionando se le incorporaron otras funcionalidades como el encendido y apagado del flash, el reinicio de la escena, la barra de calidad, etc. En general los parámetros a evaluar en las pruebas fueron la visibilidad y funcionalidad de cada uno de los elementos que conformaban las escenas (botones, scripts, modelos, animaciones, etc.).



## Capítulo 4

### Pruebas y Resultados

---

Como se planteó en los objetivos, se pretende que los alumnos de medicina se interesen en los temas de micología utilizando nuevas herramientas de estudio, por ello se realizaron pruebas con alumnos, para obtener una perspectiva clara del impacto que se tiene con el uso de la aplicación en el aprovechamiento académico, así como en el nivel de aceptación y satisfacción. Además, los resultados de las pruebas permiten ver áreas de crecimiento en la aplicación para corregir errores, realizar mejoras y adaptar nuevas funcionalidades.

En este capítulo se describe el proceso que se llevó a cabo durante la validación y el análisis de los resultados obtenidos.

## 4.1 Preparación de las pruebas

La asignatura de “Microbiología y Parasitología”, se imparte anualmente a los alumnos de segundo año de la carrera de “Médico Cirujano”. Gracias a que se conocen las fechas programadas para esta asignatura y los temas que se imparten, se programaron las pruebas para el mes de diciembre del 2018, con el fin de aplicarlas en alumnos que se encontraran cursando esta asignatura y en particular la materia de Micología.

Las pruebas se aplicaron a dos grupos que cursaban el tema “Esporotricosis” de la asignatura “Microbiología y Parasitología”, sumando un total de 18 alumnos repartidos de la siguiente manera:

- Grupo 2218: 9 alumnos.
- Grupo 2225: 9 alumnos.

Antes de llevar a cabo las pruebas, se acordó con el Departamento, dividir a cada uno de los grupos en 2 partes:

- Alumnos que cuenten con dispositivos móviles que cumplan con los requisitos para instalar la aplicación, y además el alumno esté de acuerdo en participar en las pruebas (9 alumnos por grupo).
- Alumnos que no cuenten con dispositivos móviles adecuados o que no deseen participar en las pruebas.

De esta manera, a los 9 alumnos del primer grupo se les proporcionó la aplicación, mientras que a los del segundo grupo, se les impartió la clase de manera regular. Al final, se aplicó una evaluación sobre el tema y se compararon los resultados obtenidos por ambos grupos.

## 4.2 Ejecución de las pruebas

Las pruebas se llevaron a cabo en los horarios de clases regulares, los días 4 y 6 de diciembre del 2018. La dinámica para la aplicación de las pruebas fue la siguiente:

1. A los alumnos que no contaban con dispositivos Android, o que no estaban interesados en utilizar la aplicación, se les solicitó la retirada del salón de clases.
2. Al grupo de 9 alumnos que quedaron dentro del salón, se les instaló de manera personal la aplicación en su dispositivo móvil.
3. Una vez que los 9 alumnos del salón contaban con la aplicación en sus dispositivos móviles, se les dio una breve explicación del funcionamiento y los objetivos de la aplicación.
4. Posteriormente, se les brindó tiempo para que pudieran interactuar con la aplicación (15 mins. para el grupo 2218 y 30 mins. para el grupo 2225).

5. Una vez concluido el tiempo establecido, se les aplicó una evaluación sobre los temas descritos en la aplicación, con el objetivo de medir el conocimiento adquirido durante el tiempo de interacción.
6. Se solicitó la retirada de estos alumnos y el ingreso del otro conjunto de alumnos.
7. Al segundo conjunto de alumnos, se les impartió la clase de manera regular, mediante diapositivas y explicaciones por parte de la profesora (40 minutos aproximadamente).
8. Una vez terminada la explicación, se les aplicó la misma evaluación de los temas atendidos, con el fin de comparar los resultados con los obtenidos por el anterior conjunto de alumnos.
9. Finalmente, a los 9 alumnos que utilizaron la aplicación, se les envió por correo electrónico, una encuesta que evalúa su experiencia de usuario.

### 4.3 Encuesta

Además de la evaluación que se llevó a cabo en el salón de clases, en donde se califica el aprendizaje teórico obtenido con la aplicación, se aplicó a los alumnos una encuesta que evalúa el nivel de satisfacción y la experiencia de usuario al interactuar con la aplicación.

Esta encuesta consta de 3 secciones:

1. **Evaluación general:** En esta sección se evalúa de manera general el funcionamiento, contenido y calidad de la aplicación. Los alumnos evaluaron con una escala del 0 al 5, los siguientes rubros:
  - Calidad del audio
  - Tiempo de respuesta de las acciones
  - Tiempo de espera entre cambios de escena
  - Utilidad del tutorial
  - Facilidad para aprender a usar la aplicación
  - Navegación en la aplicación
  - Visibilidad de los elementos 3D
  - Visibilidad y funcionalidad de los botones y elementos de interfaz en pantalla
  - Colores
  - Texturas
  - Funcionamiento en general
  - Diseño de los elementos 3D
  - Contenido divertido e interesante
  - Contenido creativo
  - Realismo visual
  - Utilidad de la información mostrada en pantalla
  - Presentación de la información
  - Confiabilidad de la información presentada

- Aprendizaje sobre el contenido
- Motivación para el uso de la aplicación
- Calidad de la aplicación en general
- Nivel de satisfacción al usar la aplicación

**2. Sensaciones:** En esta sección, se evalúan las sensaciones de malestar que pueda presentar el usuario al interactuar con la aplicación. De igual manera, se evaluó en una escala del 0 al 5 las siguientes sensaciones:

- Esfuerzo
- Fatiga
- Mareo
- Dolor de cabeza
- Náusea
- Ojos cansados
- Dificultad de concentración
- Fatiga muscular
- Desorientación
- Incomodidad
- Visión borrosa
- Malestar general

**3. Aprendizaje y experiencia:** En esta sección se permite al usuario dar una opinión más detallada sobre la experiencia que tuvo al interactuar con la aplicación. Las preguntas presentadas en esta sección son:

- ¿Conocías la Realidad Aumentada?
- ¿Tuviste interacción con alguna aplicación que utilizara Realidad Aumentada anteriormente?, si la respuesta es afirmativa, menciona alguna de ellas.
- ¿Fue fácil aprender a utilizar la aplicación por primera vez? ¿Por qué?
- ¿La información presentada en el sistema te parece relevante? ¿Por qué?
- ¿Te dio la impresión de que los elementos virtuales se acoplaran a tu mundo? Describe tu experiencia.
- ¿Esta aplicación te motivó a seguir usando Realidad Aumentada?
- ¿Crees que este tipo de tecnologías ayudaría a que adquieras conocimientos más rápido? ¿Por qué?
- ¿Te gustaría contar con este sistema para mejorar tus habilidades y conocimientos?
- ¿Crees que es innovadora esta tecnología?
- ¿Recomendarías la aplicación a un amigo, familiar o conocido?
- ¿Te gustaría poder tener la aplicación en tu celular, Tablet, laptop, consola de videojuegos, salón de clases, lugar de trabajo, etc.? ¿Para cual(es) de ellos te sería de mayor utilidad y por qué?
- ¿Crees que la aplicación cumple con los objetivos de enseñanza? ¿Por qué?



- ¿Qué mejorarías, modificarías o eliminarías sobre el contenido presentado?
- Quejas y sugerencias (Opcional)

## 4.4 Análisis de los resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la evaluación teórica, aplicada en el salón de clases, que evalúa el conocimiento adquirido por los alumnos. Así mismo, se presentan los resultados obtenidos en la encuesta enviada por correo.

### 4.4.1 Resultados de la evaluación

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación teórica, aplicada a los alumnos que utilizaron la aplicación y se comparan con los resultados obtenidos por los alumnos que tomaron la clase de manera regular.

*Tabla 3. Resultados de la evaluación de conocimientos teóricos.*

No. de lista	Calificaciones del grupo 2218		Calificaciones del grupo 2225	
	Aplicación	Clase tradicional	Aplicación	Clase tradicional
1	8	---	---	10
2	---	9.5	---	7.5
3	---	9	---	---
4	---	7	---	10
5	---	---	---	9.5
6	---	9.5	---	7
7	8	---	---	5.5
8	---	9.5	---	9.5

9	---	8	---	9
10	---	10	---	7
11	---	10	---	9.5
12	7.5	---	8	---
13	---	6.5	---	10
14	7	---	---	10
15	---	9.5	9	---
16	6	---	---	9.5
17	4	---	---	9
18	---	---	9.5	---
19	---	10	6.5	---
20	---	9	7	---
21	---	10	---	9
22	---	9.5	8	---
23	---	9.5	---	9
24	4.5	---	---	9.5
25	5	---	7	---

26	---	10	---	6.5
27	---	9	---	8
28	---	9.5	---	9.5
29	7	---	7	---
30	---	---	---	5
31	---	---	9	---
<b>Promedio</b>	<b>6.3</b>	<b>9.1</b>	<b>7.8</b>	<b>8.5</b>
<b>Promedio de ambos grupos con aplicación</b>			<b>7.1</b>	
<b>Promedio de ambos grupos en clase tradicional</b>			<b>8.8</b>	

Se puede observar que el promedio obtenido por aquellos alumnos que utilizaron la aplicación es menor al promedio obtenido por los alumnos que tomaron clases de manera tradicional. El motivo de esta desigualdad se debe a algunos factores, como:

- En una clase presencial puedes preguntar al profesor.
- Los tiempos para la clase tradicional fueron mayores a los que se establecieron para utilizar la aplicación.
- Algunos alumnos están acostumbrados a tomar apuntes, por este motivo perdieron tiempo al intentar anotar en sus cuadernos y no concluyeron la explicación de todos los subtemas.
- Muchos alumnos no habían interactuado con la Realidad Aumentada, como consecuencia perdieron tiempo en aprender a utilizar la aplicación.

También es claro que entre el grupo 2218 y 2225 existe una diferencia en los promedios de los alumnos que utilizaron la aplicación. Esto es porque al grupo 2218 únicamente se les otorgaron 15 minutos para utilizar la aplicación, una vez instalada en sus dispositivos móviles. Al grupo 2225 se les dio un total de 30 minutos, el doble que al primer grupo.

## 4.4.2 Resultados de la encuesta

A continuación, se presentan los promedios obtenidos en cada pregunta de la encuesta que evalúa la experiencia de usuario. Como se mencionó anteriormente, la escala de evaluación va de 0 a 5, siendo 0 la calificación más baja y 5 la más alta.

### Evaluación general

*Tabla 4. Resultados de la encuesta de satisfacción, para la sección "Evaluación general".*

<b>Parámetro</b>	<b>Calificación promedio</b>
Calidad del audio	<b>4.5</b>
Tiempo de respuesta de las acciones	<b>3.9</b>
Tiempo de espera entre cambios de escena	<b>4.1</b>
Utilidad del tutorial	<b>4.4</b>
Facilidad para aprender a usar la aplicación	<b>4.4</b>
Navegación en la aplicación	<b>4.2</b>
Visibilidad de los elementos 3D	<b>3.6</b>
Visibilidad y funcionalidad de los botones y elementos de interfaz en pantalla	<b>4.3</b>
Colores	<b>4.8</b>
Texturas	<b>4.5</b>
Funcionamiento en general	<b>4.2</b>
Diseño de los elementos 3D	<b>4.3</b>
Contenido divertido e interesante	<b>4.2</b>
Contenido creativo	<b>4.4</b>
Realismo visual	<b>4</b>
Utilidad de la información mostrada en pantalla	<b>4.3</b>
Presentación de la información	<b>4.5</b>
Confiabilidad de la información presentada	<b>4.4</b>
Aprendizaje sobre el contenido	<b>4</b>
Motivación para el uso de la aplicación	<b>4.3</b>
Calidad de la aplicación en general	<b>4.2</b>
Nivel de satisfacción al usar la aplicación	<b>4.1</b>

## Sensaciones

Tabla 5. Resultados de la encuesta de satisfacción, para la sección "Sensaciones".

Parámetro	Calificación promedio
Esfuerzo	1.46
Fatiga	0.46
Mareo	0.2
Dolor de cabeza	0.2
Náusea	0
Ojos cansados	0.53
Dificultad de concentración	1
Fatiga muscular	0.33
Desorientación	0
Incomodidad	0.4
Visión borrosa	0
Malestar general	0.2

## Aprendizaje y experiencia

En esta sección de la encuesta, la mayoría de las preguntas son abiertas, esto para brindar a los alumnos la oportunidad de describir su experiencia con sus propias palabras.

- ¿Conocías la Realidad Aumentada?

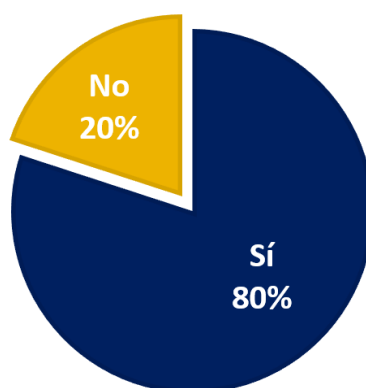


Figura 27. ¿Conocías la RA?

- **¿Tuviste interacción con alguna aplicación que utilizara RA anteriormente?**

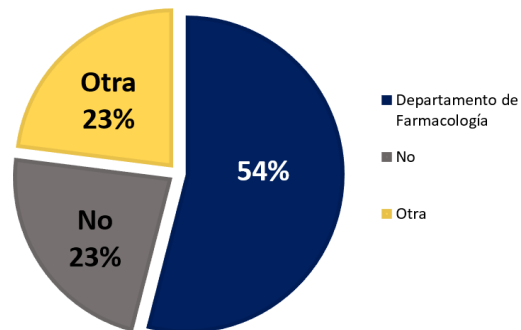


Figura 28. ¿Tuviste interacción con alguna aplicación que utilizara RA anteriormente?

- **¿Esta aplicación te motivó a seguir usando Realidad Aumentada?**

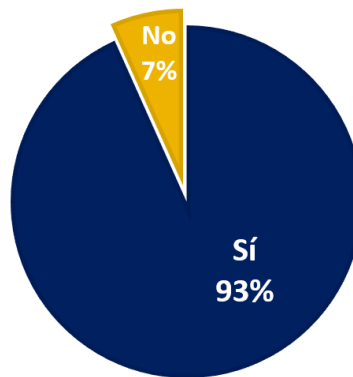


Figura 29. Motivación para seguir usando RA.

- **¿Te gustaría contar con este sistema para mejorar tus habilidades y conocimientos?**

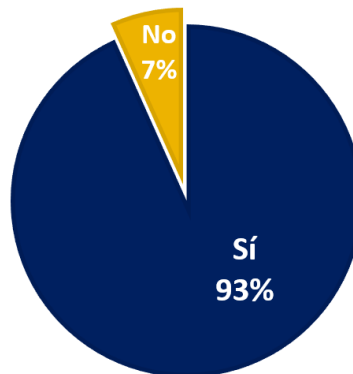
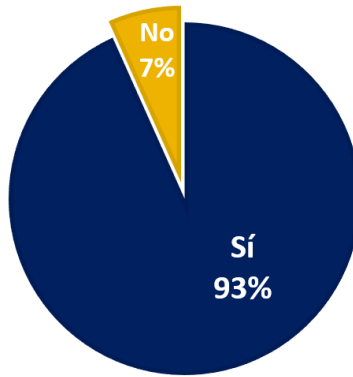


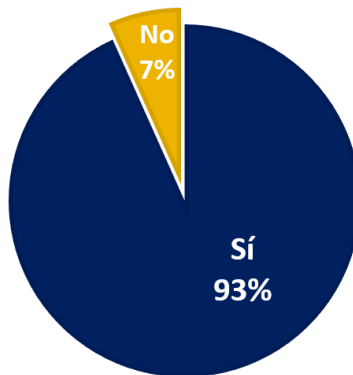
Figura 30. ¿Te gustaría contar con este sistema para mejorar tus habilidades y conocimientos?

- **¿Crees que es innovadora esta tecnología?**



*Figura 31. ¿Crees que es innovadora esta tecnología?*

- **¿Recomendarías la aplicación a un amigo, familiar o conocido?**



*Figura 32. ¿Recomendarías la aplicación a un amigo, familiar o conocido?*

- **¿Fue fácil aprender a utilizar la aplicación por primera vez? ¿Por qué?**

Tabla 6. ¿Fue fácil aprender a utilizar la aplicación por primera vez?

<b>Sí (93.3%)</b>	<b>No (6.6%)</b>
Sí, porque no es complicado aprender a usarlo y es muy fácil entender las instrucciones de uso.	No porque se movía un poco la imagen.
Sí, es muy sencillo, sólo debes tomar una foto y listo, la información se empieza a desplegar.	
Sí, era muy concisa y precisa.	
Sí, porque la misma aplicación te va guiando para que puedas seleccionar las opciones, y la visualización de estas no es difícil de encontrar.	
Sí, es muy entendible.	
Sí, porque fue interactivo y se me quedó la información más fácil.	
Las instrucciones son buenas.	
Si.	
Sí, podía calibrarse con facilidad.	
Sí, porque es sencilla.	
Sí, era muy interactivo y las instrucciones eran muy buenas.	
Sí, porque me parece que no es tan difícil usarla y la información está bien organizada, por lo tanto, es fácil de entender.	
Sí, porque no se necesita de mucho esfuerzo	
Sí. Era como un juego.	



- ¿La información presentada en el sistema te parece relevante? ¿Por qué?

Tabla 7. ¿La información presentada en el sistema te parece relevante? ¿Por qué?

SÍ (100%)
Sí, fue de ayuda para la materia, muchas veces se aprende más de forma visual e interactuando.
Sí, además de relevante me pareció resumida para un buen repaso.
Bastante, la información era fácil de asociar con lo que veía.
Sí, porque te presenta lo más importante y las características de la enfermedad, al igual que su diagnóstico y tratamiento de una forma sencilla y fácil de recordar.
Sí.
Sí, va directo al punto y además no da tantas vueltas.
Es más didáctico aprender.
Sí, es lo más destacado de Sporothrix.
Sí, por la importancia en la materia.
Sí, es de utilidad académica.
Sí, porque es buen complemento a la información que es presentada en teoría.
Sí, resalta lo más relevante de cada rubro que abarcó.
Sí, porque tocaba los puntos esenciales de la enfermedad (agente causal, epidemiología, tratamiento, tipos, etc.).
Sí, porque sirve de estudio.
Sí, es sencilla y contiene lo más importante.

- **¿Te dio la impresión de que los elementos virtuales se acoplaron a tu mundo?  
Describe tu experiencia**

Tabla 8. ¿Te dio la impresión de que los elementos virtuales se acoplaron a tu mundo?

<b>Sí (73.3%)</b>	<b>No (26.6%)</b>
Sí, podía mover el celular a cualquier lado para ver de diferentes ángulos la figura 3D, sólo que a veces al moverla la figura comenzaba como a temblar y no se quedaba fija o se movía con el celular y no podía ver desde otro ángulo, pero en general estuvo bien acoplada.	No siempre
Es una buena idea que la aplicación se acople al mundo real. El único inconveniente fue que había momentos en que los elementos virtuales temblaban poco o a veces mucho.	No, es muy difícil lograr calibrarlo
Me gusto, ya había tenido experiencia con la RA, pero sigue pareciéndome una buena idea para repasar estos temas.	Tiendan a no visualizarse muy bien
Sí, porque estaban como en mi alrededor.	Un poco, creo que para celulares la imagen era muy pequeña.
Sí, se sintió como si pudiera tocar las imágenes.	
Si, había buenos gráficos.	
En parte sí, y en parte no. A pesar de que las imágenes para ilustrar eran muy buenas y dejaban claro el punto, muchas se veían en segunda dimensión y no tanto en tercera. Y cuando intentabas mover el dispositivo alrededor para tener una vista de 360 grados, se te "reiniciaba" la aplicación o tenías que volver a tomar la foto.	
Sí, fue como si pudiera tocarlos y manipularlos al mover el celular.	
Sí, porque es un mundo nuevo y lo vives como si fuese real	
Sí, es sencilla y contiene lo más importante.	
Sí.	

- **¿Crees que este tipo de tecnologías ayudaría a que adquirieras conocimientos más rápidamente? ¿Por qué?**

*Tabla 9. ¿Crees que este tipo de tecnologías ayudaría a que adquirieras conocimientos más rápidamente? ¿Por qué?*

<b>Sí (100%)</b>
Sí, como ya dije es una manera de aprender ya que es muy visual y puedes asociar algunas cosas con acciones que pudiste hacer en la aplicación, es menos aburrido y puedes verlo muchas veces.
Sí, definitivamente. No creo que pueda sustituir a la clase, pero si es un buen material de apoyo.
Me parece que es una tecnología para reforzar el conocimiento visto en clase, no es como para reemplazar la clase, sino más bien para dar más énfasis en ciertos puntos del tema.
Si, por la asociación de lo que dicen con lo que ves.
Sí, porque es más interactivo.
Sí, porque podemos imaginar más fácil todo.
Sí, porque es más didáctico aprender.
Sí, aunque también es distracción.
Algunas veces, mientras no sea más información en texto.
Sí, la información interactiva es mejor.
Si, ayudan como repasos rápidos para después de haber visto el tema.
Si, hace más interactivo el aprender un tema.
Sí, porque es como muy interactivo el aprendizaje.
Sí, porque es una forma de estudio más eficiente
Sí, porque es más fácil de usar.

- **¿Te gustaría poder tener la aplicación en tu celular, Tablet, laptop, consola de videojuegos, salón de clases, lugar de trabajo, etc.? ¿Para cual(es) de ellos te sería de mayor utilidad y por qué?**

*Tabla 10. ¿Te gustaría poder tener la aplicación en tu celular, Tablet, laptop, consola de videojuegos, salón de clases, lugar de trabajo, etc.? ¿Para cual(es) de ellos te sería de mayor utilidad y por qué?*

<b>Sí (100%)</b>
Sí, me gustaría tenerla. Considero que es de mayor utilidad en el celular ya que cargo con el todo el tiempo en casa y en la escuela y puedo usarlo en cualquier momento, pero creo que también estaría bien tenerla en la facultad.
Si, en mi celular, es el medio que más uso.
Sí, para IPad y computadora por el tamaño de las imágenes y por lo tanto de la realidad, sería más grande.
Celular y Tablet porque es más fácil de llevar a todos lados y por tal motivo repasarlo en cualquier parte.
Computadora o Tablet.
En celular y Tablet, porque es más sencillo llevarlos y considero práctico utilizarlos.
Sí, para celular, y aprender mejor en las materias.
Celular.
Sí, para mi estudio.
Celular, porque es más portátil.
Celular, por la facilidad de llevarlo.
Sí, teléfono celular y Tablet puesto que es lo que más utilizo.
En mi celular y laptop, porque son los dispositivos que más utilizo.
Sí, para repasar temas de materias y para microbiología y fisiología.
Celular y Tablet. Porque son más prácticas.

- **¿Crees que la aplicación cumple con los objetivos de enseñanza? ¿Por qué?**

Tabla 11. ¿Crees que la aplicación cumple con los objetivos de enseñanza? ¿Por qué?

<b>Sí (93.3%)</b>	<b>No (6.6%)</b>
Sí, porque es una manera de aprender y comprender mejor los temas y no solo de una materia, te ayuda a tener una mejor imagen de lo que sucede que solo leyendo e imaginando.	No, porque no captó toda mi atención.
Sí, pues presenta el tema a manera que se entienden bien los conceptos y puntos que se quieren enseñar.	
Sí, pero solo como material extra, no como una fuente de información primaria.	
Si, la información fue la requerida.	
Sí, porque mencionó todos los aspectos importantes de la enfermedad de manera muy clara y concisa.	
Sí. Porque los datos son certeros.	
Si, te enseña de una mejor manera por cómo te explica las cosas e interactúas.	
Sí, es concreta.	
Sí, porque da la información precisa.	
Si, abarca lo más relevante de los temas.	
Sí, ya que este método de estudio y aprendizaje es más didáctico.	
Sí. Es sencillo de usar.	
Sí. Sí, porque da la información precisa.	

- **¿Qué mejorarías, modificarías o eliminarías sobre el contenido presentado?**

Tabla 12. ¿Qué mejorarías, modificarías o eliminarías sobre el contenido presentado?

<b>Respuestas</b>
Pues nada, me parece bien la información.
Ninguna.
Todo es bueno respecto al contenido.
Mucho texto.
Tal vez siendo accesible desde más dispositivos.
El sonido y agregaría un poco más de animaciones.
Mejoraría un poco más los gráficos.
Yo creo que le agregaría un poco de más información.
Que los elementos virtuales temblaran menos o que se implemente una forma en la que ese problema pase desapercibido, todo lo demás me parece correcto.
La imagen temblaba mucho, y me tardé un poco en saber que la imagen que enfocas para que aparezca la realidad, es la que tienes que estar manteniendo, si no desaparece o depende de que tan cerca o lejos estés es lo que se ve.
Mejorar la visualización del contenido.
Me gustaría poner un botón de pausa para que me permitiera hacer anotaciones.
Tal vez no agregaría la historia del hongo como tal, y hablaría más sobre el diagnóstico y las formas clínicas.
Haría algo para que con solo una foto cargara todos los apartados, ya que tenía que tomar una foto por cada uno. En cuanto a las figuras presentadas, sería que no se moviera mucho al mover el celular o que no se hicieran tan grandes para que quien la use no se aleje demasiado.
Un poquito la calidad del sonido.

## **Capítulo 5**

### **Conclusiones**

---

En este trabajo se presentó el desarrollo de una aplicación de Realidad Aumentada como una herramienta didáctica para el aprendizaje de la micosis denominada Esporotricosis, provocada por la infección del hongo *Sporothrix Schenckii*. El desarrollo se realizó usando metodología de software consistente en el análisis, diseño, implementación y pruebas de validación. Los resultados de las pruebas con usuarios dieron como resultado general una aceptación de uso positiva y un interés por el tipo de tecnología empleado, principalmente en aquellos cuya edad se encuentra entre los 19 a 23 años.

De las 15 encuestas realizadas y el análisis de las respuestas obtenidas en la evaluación objetiva de conocimiento y la evaluación subjetiva de satisfacción, se compararon los resultados con los objetivos planteados al inicio del proyecto, concluyendo lo siguiente:

- Las tecnologías de realidad aumentada NO mostraron ser capaces de sustituir los métodos de enseñanza tradicionales en el salón de clase. Esta conclusión se deriva de la comparación entre los resultados obtenidos en la evaluación de conocimiento teórico por parte de los alumnos que utilizaron la aplicación y aquellos que recibieron la clase de manera tradicional; lo cual refuerza la idea de que el profesor es un elemento significativo en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- De la hipótesis, la aplicación de realidad aumentada sirvió como una herramienta de estudio para los alumnos de la carrera de medicina, facilitando la comprensión e interpretación del tema Esporotricosis. Esto se validó con las respuestas proporcionadas por los usuarios: ¿crees que este tipo de tecnologías ayudaría a que adquieras conocimientos más rápidamente?, ¿crees que es innovadora esta tecnología?, ¿te gustaría contar con este sistema para mejorar tus habilidades y conocimientos? y ¿La información presentada en el sistema te parece relevante? ¿Por qué?, cuyas respuestas mostraron un porcentaje de aceptación mayor al 90%.

Finalmente, la aplicación desarrollada establece un precedente para el uso de la Realidad Aumentada como una nueva herramienta para transmitir el conocimiento en un área muy específica, como lo es la Micología Médica. Como trabajo a futuro es necesario estandarizar los criterios para la evaluación del uso de la RA, y aplicarla a un mayor número de usuarios (estudiantes de Microbiología). Además, queda por extender la Realidad Aumentada a otros temas de Micología o de otras enfermedades infecciosas.



## Anexo A

Con el objetivo de facilitar el manejo de la aplicación MiRA y entender la funcionalidad de ésta, se añadió un tutorial que detalla los pasos a seguir para una adecuada ejecución. Además, se describen conceptos básicos sobre la RA como la funcionalidad de los marcadores y su importancia en una aplicación de RA.

El tutorial se encuentra en la opción "Tutorial" del menú principal. Al ingresar a esta opción se despliegan una por una un total de 10 imágenes, en las cuales se describe paso a paso el flujo de la aplicación. A continuación, se presentan las imágenes que se utilizaron para el tutorial.



Figura 33. Tutorial primera parte.

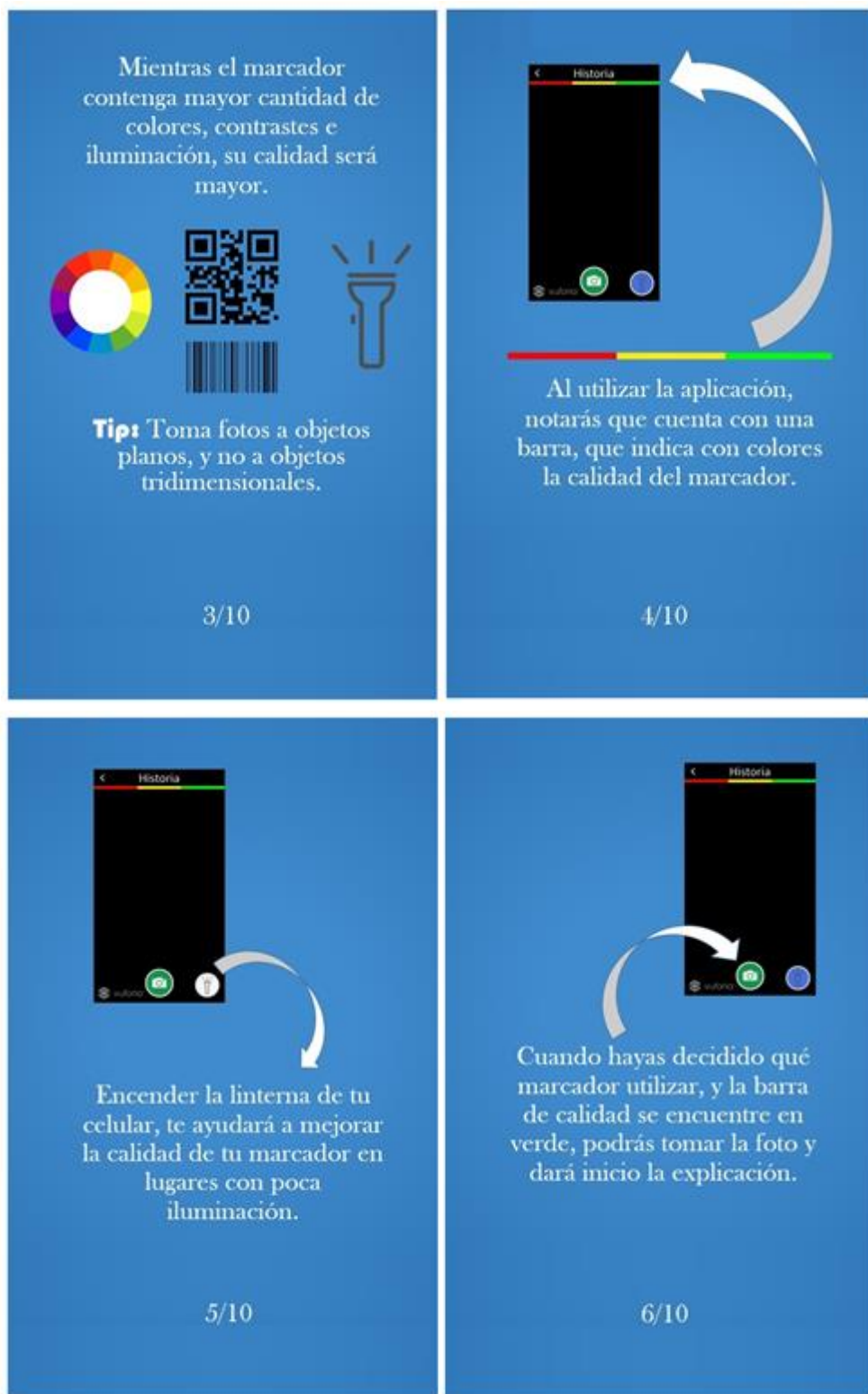


Figura 34. Tutorial segunda parte.



Figura 35. Tutorial tercera parte.



## Anexo B

---

Como complemento de la información referente a la Esporotricosis, la Dra. Francisca Hernández Hernández, jefa del Departamento de Microbiología y Parasitología de la UNAM, proporcionó un texto en el que se describen seis subtemas de mayor importancia referentes a la Esporotricosis. Estos subtemas son los que se describen en la aplicación MiRA y el texto presentado a continuación, es el que se puede escuchar en los audios al seleccionar uno de los subtemas.

### **ESPOROTRICOSIS (LA ENFERMEDAD DEL JARDINERO)**

#### **Datos históricos**

La Esporotricosis es una enfermedad que describió por primera vez el Dr. Benjamín Schenck en 1898, en un paciente del Hospital Hopkins en Baltimore, Estados Unidos, quien padecía de una Esporotricosis linfangítica. En 1900, Hektoen y Perkins dieron el nombre de *Sporothrix schenckii* al agente causal. Desde entonces se han reportado numerosos casos en todo el mundo. En México, Gayón y Aguirre Pequeño publicaron los primeros casos en 1913 (citado en Bonifaz, 2000), y actualmente en nuestro país la Esporotricosis es considerada la micosis subcutánea más frecuente. Los estados más afectados son ciudad de México, Puebla, Jalisco, Michoacán, Estado de México y Guanajuato (Vega et al, 2002).

## **Hábitat**

Los hongos que causan la Esporotricosis viven en diversos tipos de suelo y vegetales, incluyendo plantas y árboles. En estos materiales el hongo se desarrolla en su forma filamentosa o micelial, es decir, formando hifas y conidios.

## **Mecanismo de infección**

La Esporotricosis es una micosis que se desarrolla después de que una herida cortante o punzocortante es contaminada con conidios de hongos del género *Sporothrix*.

Con menor frecuencia este hongo puede infectar al humano por inhalación de los conidios, en cuyo caso se desarrollará una esporotricosis pulmonar.

Las personas que por sus actividades de trabajo manipulan o están cerca de estos materiales, son los campesinos, los carpinteros, los alfareros, los cazadores de armadillos, los jardineros, etc.

## **Patogenia y formas clínicas (Chancro/Rosa)**

*Sporothrix* puede entrar al cuerpo por dos vías: respiratoria, inhalando los conidios del hongo, o traumática, a través de una herida en la piel o mucosas que es contaminada con conidios y/o filamentos del hongo.

Si consideramos que *Sporothrix* penetró por la piel a través de una espina o una herida contaminada con conidios, estos quedarán depositados en la dermis. Si el sistema inmune del paciente es competente, estos conidios serán destruidos y solamente quedarán algunos vestigios de ese contacto a través de los Linfocitos T.

Por el contrario, si el sistema inmunológico del individuo no logra destruir al microorganismo, entonces se desarrolla una respuesta celular compuesta principalmente por neutrófilos polimorfonucleares, macrófagos, células gigantes, linfocitos. Todas estas células son rodeadas por fibroblastos y el conjunto forma un granuloma. Este proceso, en un tiempo de 1 a tres semanas, clínicamente se traduce en un nódulo, el cual se observa como una lesión de color eritematoso o púrpura, firme, bien delimitada, no dolorosa. Este nódulo se reblandece formando lo que se conoce como goma y se ulcera para drenar material purulento. Esta lesión comúnmente es conocida como chancro esporotricósico o chancro de inoculación.

En este momento el microorganismo infectante se encuentra en la dermis, y ha logrado resistir las condiciones adversas del hospedero transformándose de conidio a levadura. Así, en este corto tiempo, en el tejido infectado se observa una mezcla de levaduras y conidios inmersas entre polimorfonucleares. Esta lesión inicial permanece por varias semanas o meses y tiende a cicatrizar, mientras que otras lesiones aparecen en el trayecto de los vasos linfáticos de forma centrípeta. Hasta aquí hemos descrito la forma

linfangítica de la Esporotricosis, que es la forma clínica que se presenta en el 75% de los casos. Esta forma linfangítica no tiene predominio de género.

En las zonas endémicas de la enfermedad, se presenta con menor frecuencia la Esporotricosis cutánea fija, que consiste básicamente en una sola lesión y puede adquirir un aspecto de placas eritematosas o infiltradas, ulcerativo, verrugoso, acneiforme o descamativo.

Cuando los conidios de *Sporothrix* son inhalados, puede producirse una Esporotricosis pulmonar, la cual se manifiesta por síntomas respiratorios inespecíficos. Esta forma clínica es más frecuente en los hombres que en las mujeres.

Cualquiera que sea el mecanismo y foco primario de infección, estudios experimentales en ratones han demostrado que a los tres días la infección se disemina, con un pico máximo a los 7 días. En los individuos inmunocompetentes, el microorganismo prácticamente ha sido eliminado a los 60 días, pero en los pacientes inmunosuprimidos la infección se disemina a uno o varios órganos, especialmente a la piel, dando lugar a un cuadro de Esporotricosis diseminada. Hacer gráfica de evolución.

### **Diagnóstico de Laboratorio (Microscopio)**

Cuando se tiene la sospecha de que un paciente podría cursar con una Esporotricosis, el médico clínico tiene varias herramientas de laboratorio para confirmarla.

Primero, si la lesión es visible a simple vista, es decir, el paciente presenta una forma linfangítica o cutánea fija, y presenta exudado, con éste puede realizar un examen microscópico directo contrastado con Lugol, o realizar un frotis y teñirlo con Gram, o con Giemsa o con ácido periódico de Shiff, y observarlo al microscopio. El observador debe buscar las estructuras parasitarias que identifican al género *Sporothrix*, que son levaduras de un tamaño aproximado de 3 X 5  $\mu\text{m}$ , generalmente de localización extracelular. El porcentaje de positividad de este estudio es bajo.

Segundo, si la lesión es seca o cerrada, el médico puede obtener un fragmento del tejido infectado a través de una biopsia y enviarlo a un laboratorio para procesarlo, en donde el tejido es fijado con formol y embebido en parafina, después cortado finamente y colocado en un portaobjetos, para realizar de preferencia la tinción de PAS o de Grocott. En esta preparación igualmente deben buscarse pequeñas levaduras ovoides o redondas. En algunas ocasiones, en el estudio histopatológico teñido con Hematoxilina-Eosina, se puede observar una estructura llamativa, que consiste en una levadura redonda central rodeada de membranas con aspecto de estrella, y que ha recibido el nombre de "cuerpo asteroide".

Con el exudado o con un fragmento de tejido, se puede realizar un tercer procedimiento que es el cultivo, de preferencia en agar dextrosa Sabouraud con antibióticos. Este es considerado el estándar de oro porque, si hay crecimiento, con él se demuestra la presencia del agente causal. Después de 5 a 8 días, se desarrolla una o

varias colonias blancas o negras, de aspecto húmedo o a veces vellosas. Si realizamos un estudio microscópico de estas colonias, debemos encontrar hifas finas, con numerosos conidios redondos, ovoides, o a veces triangulares, hialinos o pigmentados. Estas estructuras representan la fase micelial, también llamada infectante de *Sporothrix*.

Si el paciente cursa con una posible Esporotricosis pulmonar, el esputo o el líquido bronquial pueden ser utilizados para un examen microscópico directo, frotis y cultivo. Las estructuras fúngicas por buscar son las mismas que en la Esporotricosis de otra localización.

Finalmente, existe un procedimiento diagnóstico que puede orientar a saber si el paciente ha estado en contacto con *Sporothrix*, y es la Intradermorreacción con esporotricina. Este antígeno contiene productos metabólicos del hongo y se inocula por vía intradérmica. Si 48 a 72 horas después de la aplicación, se observa una zona de induración de 5 mm o más, la prueba indica que el paciente tiene una respuesta celular adquirida hacia *Sporothrix* y se interpreta como positiva.

### **Tratamiento (Píldora)**

Una vez que se confirma un caso de Esporotricosis, el médico está en posibilidad de indicar un tratamiento antifúngico. El medicamento de elección es el yoduro de potasio. Cuando el paciente presenta intolerancia o efectos secundarios graves a esta sustancia, el Itraconazol es muy buena alternativa. El tiempo de tratamiento depende del tiempo de desaparición de las lesiones y de la negativización de las pruebas micológicas, como el examen microscópico y el cultivo, o de ser posible el estudio histopatológico.

### **Prevención**

Aunque es difícil aplicar medidas preventivas en la población que está en riesgo de adquirir una Esporotricosis, es recomendable que las personas que sufren alguna herida, en particular con material vegetal, laven las lesiones con abundante agua y jabón para disminuir la posibilidad de que en el tejido se aloje el hongo infectante. Las personas laboralmente expuestas como jardineros, carpinteros o alfareros deben aplicar medidas de protección específicas a sus actividades. Jardinero con guantes y goggles.



## Bibliografía

---

- [1] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, "Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum," *ATR Commun. Syst. Res. Lab.*, vol. 2351, 1994.
- [2] B. Serrano, C. Botella, and R. M. Baños, *Realidad Virtual Y Virtualidad Aumentada*. EAE, 2012.
- [3] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," *Hughes Res. Lab.*, p. 48, 1997.
- [4] F. Zhou, H. Been-Lrin Duh, and M. Billinghurst, "Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR," *2008 7th IEEE/ACM Int. Symp. Mix. Augment. Real.*, pp. 193–202, 2008.
- [5] F. Telefónica, *Realidad Aumentada: una nueva lente para ver el mundo*, Primera. España: Editorial Ariel, 2011.
- [6] J. Surrell, *The Haunted Mansion: From the Magic Kingdom to the Movies*. Disney Editions, 2003.
- [7] J. Peddie, *Augmented Reality: Where We Will All Live*. Springer International Publishing, 2017.
- [8] K. Lee, "Augmented Reality in Education and Training," *TechTrends*, vol. 56, 2012.
- [9] I. C. Committee, "ISMAR 2018," 2018. [Online]. Available: [https://ismar2018.org/main\\_about/index.html](https://ismar2018.org/main_about/index.html). [Accessed: 12-Jun-2018].
- [10] I. C. S. V. and G. T. Committee, "ISMAR 2016," 2016. [Online]. Available: <http://ismar2016.vgtc.org/>. [Accessed: 12-Jun-2018].
- [11] J. Verne, *LA VUELTA AL MUNDO EN 80 DÍAS - AR*, 1st ed. Parramón, 2018.
- [12] C. Kamphuis, E. Barsom, M. Schijven, and N. Christoph, "Augmented reality in medical education?," *Perspect. Med. Educ.*, vol. 3, no. 4, pp. 300–311, Sep. 2014.
- [13] L. Kerawalla, R. Luckin, S. Seljeflot, and A. Woolard, "``Making it real``: exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science," *Virtual Real.*, vol. 10, no. 3, pp. 163–174, 2006.

- [14] J. L. Sánchez, "Vía Apoptotica CD95 (Biología) - Aplicaciones en Google Play," 2019. .
- [15] SODVI, "Geometry App - Aplicaciones en Google Play," 2019. [Online]. Available: [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.SODVI.GA&fbclid=IwAR0\\_SPn716UbhHiAtK5d7xFzI7FZnxrK9FmNVfaCRf2MSXMTLq70U9O-nMQ](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.SODVI.GA&fbclid=IwAR0_SPn716UbhHiAtK5d7xFzI7FZnxrK9FmNVfaCRf2MSXMTLq70U9O-nMQ). [Accessed: 04-May-2019].
- [16] G. Scavo, F. Wild, and P. Scott, "The GhostHands UX: telementoring with hands-on augmented reality instruction," 2015.
- [17] M. Fjeld and B. M. Voegtli, "Augmented Chemistry: An Interactive Educational Workbench." Switzerland, p. 2, 2002.
- [18] K. S. Aw and H. Badioze Zaman, "Augmented Reality Based Educational Tool on Live Solar System (LSS)," 2009.
- [19] E. Ong *et al.*, "An Augmented Reality Assistance Platform for Eye Laser Surgery," in *Conference proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, 2015, vol. 2015.
- [20] X. Kang *et al.*, "Stereoscopic augmented reality for laparoscopic surgery," *Surg. Endosc.*, vol. 28, 2014.
- [21] J. Almenara, J. Barroso-Osuna, A. Puentes, and I. Cruz Pichardo, "La utilización de la Realidad Aumentada en la enseñanza de Anatomía en The use of Augmented Reality in the teaching of Anatomy in Medicine: acceptance and motivation of the student," *Rev. Cuba. Educ. Medica Super.*, vol. 32, 2019.
- [22] R. López Martínez, L. J. Méndez Tovar, P. Manzano Gayosso, and F. Hernández Hernández, *Principios de Micología Médica Clínica, Diagnóstico y Terapéutica*, 1st ed. Ciudad de México: Méndez Editores, S.A. de C.V., 2009.
- [23] R. López Martinez, *Historia de la Micología Médica en México*, 1st ed. Ciudad de México: Academia Mexicana de Dermatología, A.C., 2015.
- [24] A. Bonifaz Trujillo, *Micología Médica Básica*, Mc. Graw H. INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V., 2015.
- [25] R. Hess, *Blender*. ANAYA MULTIMEDIA, 2011.
- [26] M. Bastioni, S. Re, and S. Misra, "Ideas and Methods for Modeling 3D Human Figures: The Principal Algorithms Used by MakeHuman and Their Implementation in a New Approach to Parametric Modeling," in *Proceedings of the 1st Bangalore Annual Compute Conference*, 2008, p. 10:1--10:6.
- [27] K. Kylander and O. Kylander, *GIMP: User's Manual*, 1st ed. USA: Steve Sayre, 1999.
- [28] Unity Technologies, "Unity," 2019. [Online]. Available: <https://unity.com/>. [Accessed: 06-May-2019].
- [29] I. Grahn, "The Vuforia SDK and Unity3D Game Engine: Evaluating Performance on Android Devices," Linköping University, 2017.