

# Simuladores virtuales quirúrgicos

---

Un ambiente virtual es aquél que “traslada” objetos del mundo real a un espacio creado artificialmente. Los elementos que se pueden representar en este tipo de mundos, son muy variados, pueden ser personas, animales, árboles, coches, hasta fenómenos naturales. Una característica importante de los ambientes virtuales es que tienen una interactividad en tiempo real. En este caso el tiempo real significa que la computadora es capaz de procesar los datos del usuario y transformar el mundo virtual, garantizando la interacción de manera fluida. Además deben ser capaces de “engañar” a nuestros sentidos.

Wiley[5] menciona que estos ambientes son: *“entidades virtuales estáticas y dinámicas que pueden incluir objetos gráficos 3D, sonidos 3D, imágenes y videos. Sin embargo, muchos de estos ambientes virtuales muestran modelos arquitectónicos en 3D estáticos, que pueden ser navegados en tiempo real de manera pasiva y ofrecen la posibilidad de exploración, interacción y participación”*.

La tecnología actual en estos sistemas provee de numerosas herramientas, que proporcionan a su vez, una nueva forma de observar las cosas. Donde antes sólo se podían ver con fotografías, pinturas o descritas con palabras, hoy en día, una escena completa puede ser reconstruida en sus tres dimensiones, y ser observada desde varios ángulos y puntos de vista. De esta manera, las nuevas tecnologías de realidad virtual nos brindan la posibilidad de interactuar y apreciar lugares y objetos a los cuales de otro modo tendríamos difícil acceso.

Un ambiente virtual, dependiendo de su complejidad, nos puede ofrecer la posibilidad de interacción a través de interfaces físicas, que pueden servir para recrear una gran variedad de sensaciones con diferentes grados de complejidad, dependiendo del tipo de dispositivos que se elijan. También, a través de éstas podemos obtener información específica usando algunos de nuestros sentidos, como pueden ser: la vista, el oído, el tacto e inclusive el olfato.

En general, se puede decir que el uso de los ambientes virtuales tiene como objetivo, poner a disposición de entidades públicas y privadas herramientas para la docencia,

## 1.1. Medicina y Ambientes virtuales

---

investigación, entretenimiento, negocios, entre otras; las cuales generan un beneficio para la sociedad.

Actualmente existen numerosos sistemas de realidad virtual que van desde simples implementaciones en una computadora personal, hasta grandes complejos para diversos propósitos. Algunos ejemplos de estos últimos son:

- El sistema *CAVE*. Es un entorno de realidad virtual desarrollado por científicos de la Universidad de Illinois, consiste en un cuarto con proyectores, orientados hacia las paredes, suelo y techo. En él una o varias personas pueden observar e interactuar con ambientes virtuales completos[2].
- *IXTLI* el observatorio de visualización de la UNAM: es una sala con tecnología de realidad virtual inmersiva, con la cual mediante despliegue estereoscópico se pueden visualizar modelos tridimensionales interactivos. Este entorno, consta de tres proyectores que generan imágenes que se transmiten en mono o estéreo, a una pantalla semicilíndrica de 140°[3].

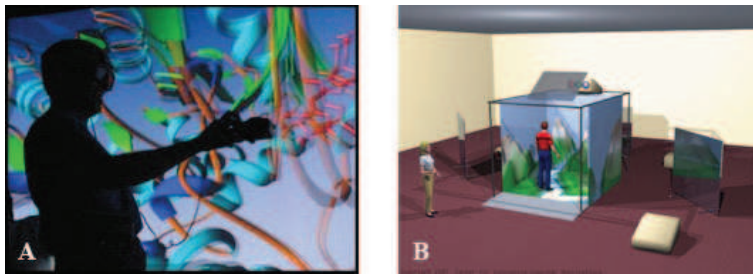


Figura 1.1: *Ambientes Virtuales*. A) *Observatorio de visualización IXTLI de la UNAM*[3]. B) *Ambiente Virtual Automático CAVE*[2].

## 1.1. Medicina y Ambientes virtuales

En años recientes, la medicina ha evolucionado enormemente, incorporando nuevos procedimientos y técnicas de cirugía de mínima invasión, creando en los médicos la necesidad de adquirirlas lo mejor y más rápidamente posible. Los sistemas de realidad virtual, como parte de su proceso de evolución, han introducido nuevas herramientas de diagnóstico, asistencia y aprendizaje.

El uso de los sistemas de realidad virtual en medicina, tiene muchas aplicaciones en la educación de los médicos como parte de su entrenamiento. De esta manera se reducen costos y se pueden estudiar una gran variedad de patologías, ofreciendo la posibilidad de repetir los procedimientos tantas veces como sea necesario. Stylopoulos[4] dice que

## 1.2. Simuladores quirúrgicos

---

un sistema de entrenamiento médico ideal es aquél que: “*es capaz de reproducir las condiciones operatorias, al mismo tiempo que un aprendiz se sumerge en un mundo virtual que es una representación fiel del mundo real*”.

Lo anterior representa un reto muy grande para los científicos, que tienen la necesidad de desarrollar nuevas interfaces físicas capaces de ofrecer las sensaciones lo más parecidas a las reales, y crear métodos de reconstrucción de modelos anatómicos que permitan emular al verdadero, crear nuevos algoritmos para procesar variables de fenómenos físicos, entre otros. Teodoro[8] menciona que en un sistema de realidad virtual destacan dos características: “*la retroalimentación de fuerzas y la retroalimentación visual. El primero permite al usuario sentir mediante dispositivos hápticos, efectos de palpar, cortar, o inclusive suturar tejidos. El segundo permite recrear la situación real por medio de la vista y por lo general por medio de un sistema gráfico de despliegue*”.

## 1.2. Simuladores quirúrgicos

Actualmente existen una gran variedad de simuladores, especializados en diferentes patologías y procedimientos quirúrgicos, los cuales tienen por objetivo contribuir al aprendizaje, e inclusive, a la corrección de deficiencias motoras usando simuladores para rehabilitación. Algunos de estos sistemas se describen a continuación.

### 1.2.1. Simulador de cirugías de mínima invasión: *proMIS*

*ProMIS* es una plataforma de *realidad mezclada*<sup>1</sup> para el entrenamiento de médicos en procedimientos de cirugías de mínima invasión, desarrollado con la participación de cirujanos en institutos alrededor del mundo. Tiene por objetivo dar a los practicantes la oportunidad de manejar instrumentos quirúrgicos reales, mientras éstos interactúan con un entorno gráfico, como se muestra en la Figura 1.2.

Este sistema cuenta con un maniquí, al cual se le inserta en la base un conjunto de herramientas, las cuales el usuario puede observar en una cámara montada en su interior, mientras una computadora realiza tareas de: rotar la cámara y generar escenas gráficas en 3D, reemplazando la secuencia de video.

Los estudiantes introducen los instrumentos dentro del modelo del abdomen, donde un ambiente controlado de iluminación es encendido, de tal manera que las paredes muestran luces de colores.

---

<sup>1</sup>Consiste en combinar mundos virtuales con el mundo real (físico) en tiempo real. Esta combinación permite crear nuevos espacios en los que interactúan tanto objetos y/o personas reales, como virtuales. Es decir, se puede considerar como una mezcla entre la realidad, realidad aumentada, virtualidad aumentada y realidad virtual.

## 1.2. Simuladores quirúrgicos

---

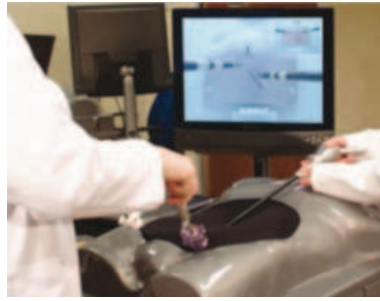


Figura 1.2: *Funcionamiento del simulador proMIS. Sesión de entrenamiento[9].*

El simulador, es capaz de seguir el movimiento de hasta 5 instrumentos quirúrgicos, de los cuales dos corresponden al cirujano, dos para el asistente, y otra para el segundo asistente.

Cuenta con un sistema de rastreo (Figura 1.3) que detecta objetos en un volumen de 30x30x15 cm, y usa un sistema de lentes de video gran angular de tal forma que se obtiene un volumen de imágenes utilizado para la representación gráfica, con lo cual resulta una precisión teórica de unos 320x240 pixeles en una imagen de 1 a 2.4 mm por pixel, dependiendo de la distancia de la cámara.

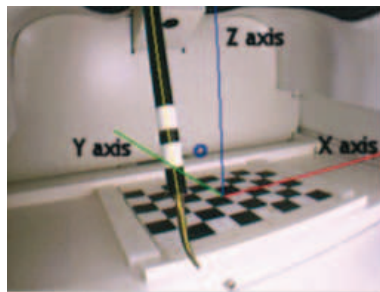


Figura 1.3: *Vista de las cámaras de rastreo. La imagen muestra un instrumento quirúrgico visto por una de las cámaras[9].*

### 1.2.2. Simulador quirúrgico para procedimientos de laparoscopia esofágica

Este simulador fue desarrollado por científicos del Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología de Korea, para el entrenamiento de procedimientos gastroesofágicos causados por el mal funcionamiento en la parte baja del esfínter del cardias (gastroesofágico), donde el músculo lo conecta con el estómago.

## 1.2. Simuladores quirúrgicos

---

El simulador combina características del tejido con modelos geométricos de órganos segmentados, que fueron obtenidos a partir de un conjunto de datos del proyecto *Visible Human*. El sistema consta de dos partes principales: los dispositivos o interfaces hápticas colocados dentro de un maniquí y un despliegue gráfico (Figura 1.4).

Se usó un modelo geométrico en tres dimensiones de *Visible Production*[11] y se simplificó con la ayuda de *3D Studio Max* y *Discreet*, obteniéndose un modelo con 1836 vértices y 3726 triángulos. Para más realismo se obtuvieron texturas de secuencias de vídeo, las cuales fueron agregadas al modelo geométrico con el uso de una técnica de mapeo de texturas de entorno (*Environment Mapping*).

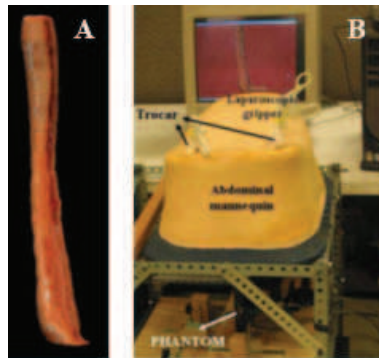


Figura 1.4: *Laparoscopia esofágica. A) Modelo del esófago. B) configuración del simulador para procedimientos de laparoscopia esofágica*[10].

También es posible simular cortes de tejido. Para este propósito, no solo se usó remallado en tiempo real del modelo, además se introduce complejidad numérica: eliminación del modelo anterior, recreación del nuevo modelo y cálculo de la matriz de rigidez, como se muestra en la Figura 1.5.



Figura 1.5: *Simulación de corte en la parte baja del esófago*[10].

## 1.2. Simuladores quirúrgicos

---

### 1.2.3. Simulador quirúrgico para histeroscopia

Este simulador es un desarrollo del Centro Nacional de Biocomputación de la Universidad de Stanford, orientado para las técnicas más comunes en diagnóstico, dilatación cervical histeroscópica operativa, resección y ablación endometrial<sup>2</sup>, y escisión de lesiones.

El modelo anatómico 3D fue construido a partir de una serie de fotografías digitalizadas del archivo de Stanford, del proyecto *Visible Female*, proveniente de una mujer de 32 años de edad. La segmentación fue realizada en 95 secciones transversales. El tejido y los órganos fueron extraídos dentro de 1600 máscaras para el desarrollo del modelo 3D.

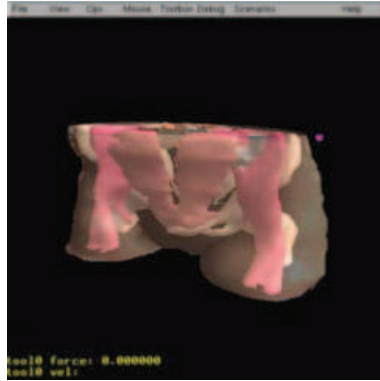


Figura 1.6: *Representación del conjunto de datos de Visible Female [12].*

El dispositivo háptico está equipado con sistemas electrónicos para ser controlado a través de una red, por la que se transmite la posición y la orientación vía TCP/IP al servidor donde se ejecuta el simulador; al mismo tiempo, se regresa un vector con las fuerzas de retroalimentación.

Fueron implementados una gran cantidad de instrumentos quirúrgicos y sus correspondientes interacciones con el tejido. Para el procedimiento de dilatación fueron establecidos cuatro dilatadores cervicales de diferentes diámetros (2, 4, 6 y 8 mm). Estas herramientas interactúan con la malla a través de un sistema de colisiones entre triángulos, que provocan deformaciones o desplazamientos.

El sistema de colisiones usa un algoritmo modificado de esferas de colisión, el cual fue desarrollado para soportar una rápida actualización de los objetos deformables, produciendo un incremento en la velocidad de detección y actualización, así como también una mejora en el funcionamiento de los dispositivos hápticos[12].

---

<sup>2</sup>La ablación endometrial es una técnica quirúrgica en donde el endometrio (tejido que tapiza la cavidad del útero) es extraído parcial o totalmente, o destruido a través de la aplicación de calor, o radiofrecuencia, para generar un daño térmico y la atrofia definitiva del tejido.

## 1.2. Simuladores quirúrgicos

---

### 1.2.4. Simulador para procedimientos de endourología de Simbionics

El *URO Mentor* es un desarrollo de *Simbionics*[13]. Con la colaboración de médicos expertos alrededor del mundo, ofrece la oportunidad de formación y práctica para diagnóstico y procedimientos terapéuticos. Proporciona una gran variedad de herramientas e imágenes basadas en sistemas reales, que pueden trabajar en diferentes ámbitos, y ofrecen sensaciones muy similares a las que se presentan en los diferentes procedimientos.



Figura 1.7: *Simulador de endourología de Simbionics*[13]

Incluye una gran variedad de casos de pacientes virtuales, cada uno con su propia anatomía y patologías. Entre las actividades que se pueden simular están:

- Procedimientos de cistoscopia y ureteroscopia.
- Identificación de la anatomía del paciente.
- La inserción correcta de la herramienta.

Cuenta con una biblioteca de casos de pacientes virtuales, los cuales tienen sus propios historiales médicos, resultados de imágenes y resultados de pruebas clínicas. Los datos usados fueron creados a partir de casos reales.

## 1.2. Simuladores quirúrgicos

---

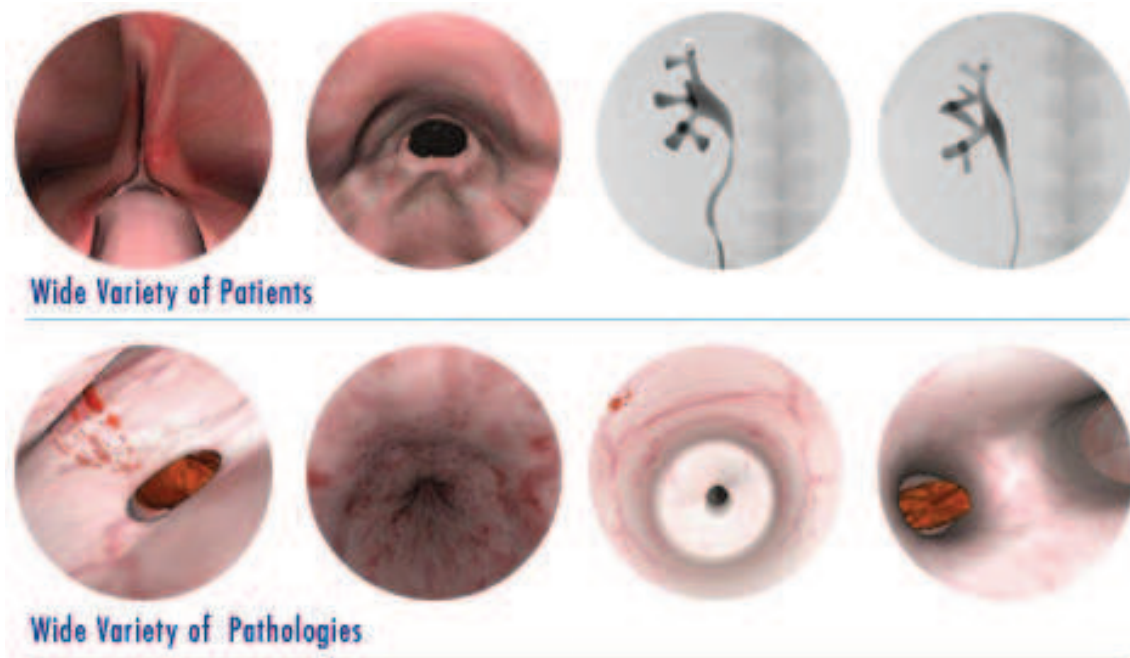


Figura 1.8: *Biblioteca de patologías del URO Mentor*[13]

Permite el trabajo con cuatro modalidades, en los que se usan diferentes herramientas, las cuales simulan los movimientos reales, con el objetivo de que el residente se familiarice con los instrumentos y practique con las herramientas para endourología.

### 1.2.5. Simulador RTUP del CCADET

El simulador de cirugía de resección transuretral de la próstata (RTUP) es un desarrollo del grupo de Análisis de Imágenes y Visualización del CCADET de la UNAM, el cual tiene el propósito de ayudar al aprendizaje de residentes en urología. Consta de dos partes principales que son: una interfaz gráfica para el despliegue, y una interfaz mecatrónica para la interacción Hombre - Máquina.

El despliegue consta de un sistema gráfico con modelos 3D con *OpenGL*, el cual a través de algoritmos de deformaciones, es capaz de simular resecciones de tejido suave producido por el usuario con un resectoscopio; cada corte produce alteraciones en el tejido alrededor de la zona. La malla 3D, que se adapta a un modelo de masas y resortes, es usada para simular la alteración del tejido ocasionada por la interacción con la herramienta quirúrgica.

El modelo gráfico utilizado para la próstata fue reconstruido en tres dimensiones, con el uso de métodos de generación de mallas, de forma que se tomaron imágenes por ultrasonido por intervalos de 5 mm, haciendo un barrido a través de la uretra, desde el



### 1.3. Simulación de partículas en ambientes virtuales

---

cuello de la vejiga hasta el verumontanum, como se muestra en la Figura 1.9.

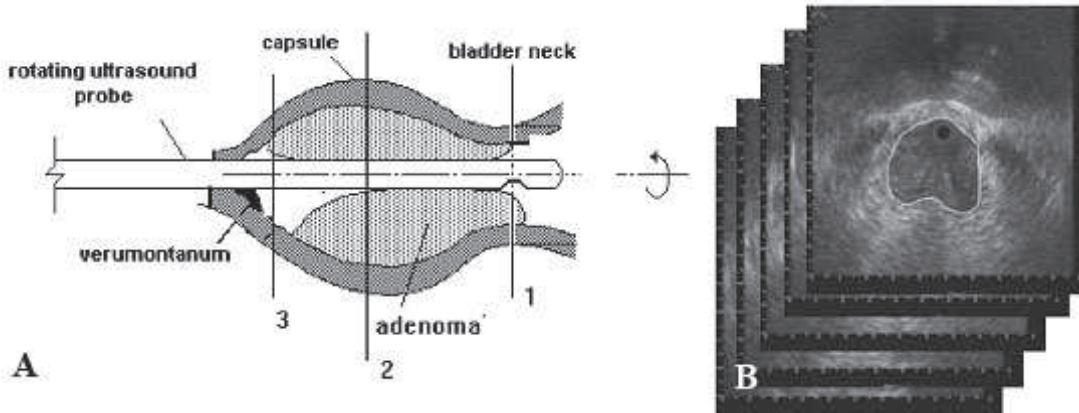


Figura 1.9: *Escaneo por ultrasonido de la próstata*[6]. A) *Ultrasonido transuretral*. B) *Pila de imágenes de ultrasonido de la próstata*

Por otro lado, la interfaz mecatrónica intenta simular de manera realista los movimientos de un cirujano durante una cirugía de RTUP. Este mecanismo fue diseñado con un arreglo de discos y anillos, el cual provee de cinco grados de libertad. Tres ejes son rotacionales y dos de desplazamientos lineales. La estructura está montada en una caja de acrílico[7].

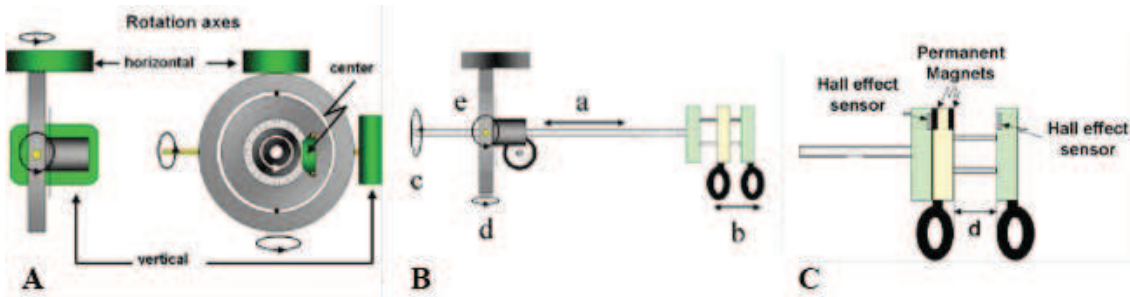


Figura 1.10: *Interfaz mecatrónica*. A) *arreglos de discos y anillos, y encoders para detectar las rotaciones de los ejes del resectoscopio*; B) *grados de libertad del resectoscopio, donde a y b son lineales, c, d y e son rotacionales*; C) *arreglo de sensores con efecto Hall para controlar el asa de resección*[7].

### 1.3. Simulación de partículas en ambientes virtuales

Imaginemos que observamos un objeto a una cierta distancia. El aire entre el objeto y nuestro ojo está lleno de partículas (humedad, humo, etc.), esto interfiere

### 1.3. Simulación de partículas en ambientes virtuales

---

con la transmisión directa de la luz a nuestros ojos. Tales interferencias, producen efectos visuales que nosotros podemos considerar como “cotidianos”, como los rayos del sol, la lluvia; el viento; sin embargo, para un ambiente virtual en una computadora. estos fenómenos no ocurren de forma natural, se tienen que programar con el uso de ecuaciones y métodos numéricos que representen su comportamiento en un espacio tridimensional “sintético”.

En los ambientes virtuales, una partícula es un objeto gráfico, usado como un realce visual. Las partículas son generadas en volumen por un manejador y son objetos que tienen masa, posición, velocidad, aceleración y responden a ciertas fuerzas. Son utilizadas típicamente para simular una gran variedad de fenómenos del mundo real, como por ejemplo relámpagos, fuego, humo, burbujas, nubes, agua, explosiones, electricidad, entre otros.

Aunque las partículas se usan para representar fenómenos que ocurren en la vida real, dentro de un ambiente virtual también es posible considerar como partículas objetos como autos, personas o planetas, dependiendo de la escala u objetivo de estudio. En general, un objeto cualquiera puede considerarse como una partícula si necesitamos estudiar su comportamiento en un tiempo determinado.

#### 1.3.1. Sistemas de partículas

Las partículas se pueden representar con diversos objetos, tales como esferas, cubos, o puntos. Erin[14] menciona que: *“están definidas por 1) una serie de puntos en el espacio y 2) una serie de reglas que guían su comportamiento y apariencia, como velocidad, color, tamaño, forma, transparencia, rotación, etc”*.

Cada uno de los fenómenos que se representan tienen un comportamiento diferente, y requieren ecuaciones que representen su dinámica en un espacio tridimensional, de igual manera se tienen que resolver en tiempo de ejecución mediante la aplicación de métodos numéricos, siendo éstos, diferentes dependiendo de la complejidad del modelo matemático.

Un sistema de partículas es especificado por una posición absoluta del sistema en el espacio 3D, cada partícula se define por su posición, velocidad y tamaño. El ciclo de vida de una partícula se puede definir en tres fases[14], como se muestra en la Tabla 1.1:

#### 1.3.2. Importancia de la simulación de partículas físicas en los ambientes virtuales

Las partículas son una parte importante de un ambiente virtual. Aunque no son indispensables para que éste funcione, sirven para darle realismo a nuestro sistema.

### 1.3. Simulación de partículas en ambientes virtuales

---

Fase 1	El nacimiento de la partícula, cuando son introducidas al espacio de acuerdo al manejador, éste define el volumen con el cual las partículas aparecerán.
Fase 2	Durante su tiempo de vida, cada partícula cambia y se mueve de acuerdo a las reglas asignadas.
Fase 3	Cada partícula muere, y son removidas del sistema, cuando su tiempo de vida ha terminado.

---

Tabla 1.1: *Ciclo de vida de una partícula*[14]

Sin el uso de partículas para la representación de fenómenos, los ambientes virtuales no serían convincentes, y el usuario no tendría la misma sensación de inmersión que si las tuviera; por lo tanto, para una persona que usa un sistema de realidad virtual, éste representará mejor nuestro mundo con la implementación de partículas.

Aún más importante, para sistemas de entrenamiento, donde es indispensable ver ciertos objetos en pantalla, las partículas deben estar presentes, como por ejemplo, en un simulador para aprender a volar un avión, es necesario representar ciertos fenómenos como la lluvia, nubes, viento, entre otros. En simuladores de cirugía es necesario observar ciertas acciones como tejido que se desprende, hemorragias, humo, fuego, entre otros. Siendo éstas, las que hacen que los usuarios que están en entrenamiento puedan aprender qué hacer ante ciertas situaciones que se presentan, ya que muchas veces éstas reducen la visibilidad y es necesario realizar cierta acción.

Hay muchos sistemas en los que se usan partículas para simular ciertos efectos, algunos de ellos son:

- En la Universidad de Erlangen - Nuremberg, Alemania, han desarrollado un manejador para simulación de fluidos, en el cual usan un algoritmo de Hidrodinámica de Partículas Suavizadas (SPH, *Smoothed Particle Hydrodynamics*), el cual es un método de aproximaciones que puede ser usado para resolver numéricamente las ecuaciones de Navier - Stokes[15]. Además, ofrece la oportunidad de controlar el fluido como más convenga, de tal forma que se pueda predecir su movimiento (Figura 1.11 y 1.12).
- En el departamento de Ciencias de la Computación y Tecnología de la Universidad de Tsinghua, en China, han desarrollado un método para la simulación de burbujas, donde es posible tener diferentes efectos como deformaciones de burbujas individualmente, separación y unión entre éstas, interacción con otros objetos y entre ellas. Para esto se usó un simulador de fluidos continuo de varias fases[16] (Figura 1.13).
- Otro manejador que se ha desarrollado sobre simulación de burbujas es el que se presentó en el *Siggraph Conference* en julio de 2010, donde se puede generar

### 1.3. Simulación de partículas en ambientes virtuales

---



Figura 1.11: *Control de un personaje con un fluido*[15]



Figura 1.12: *Pruebas de control de un fluido*[15]

### 1.3. Simulación de partículas en ambientes virtuales

---

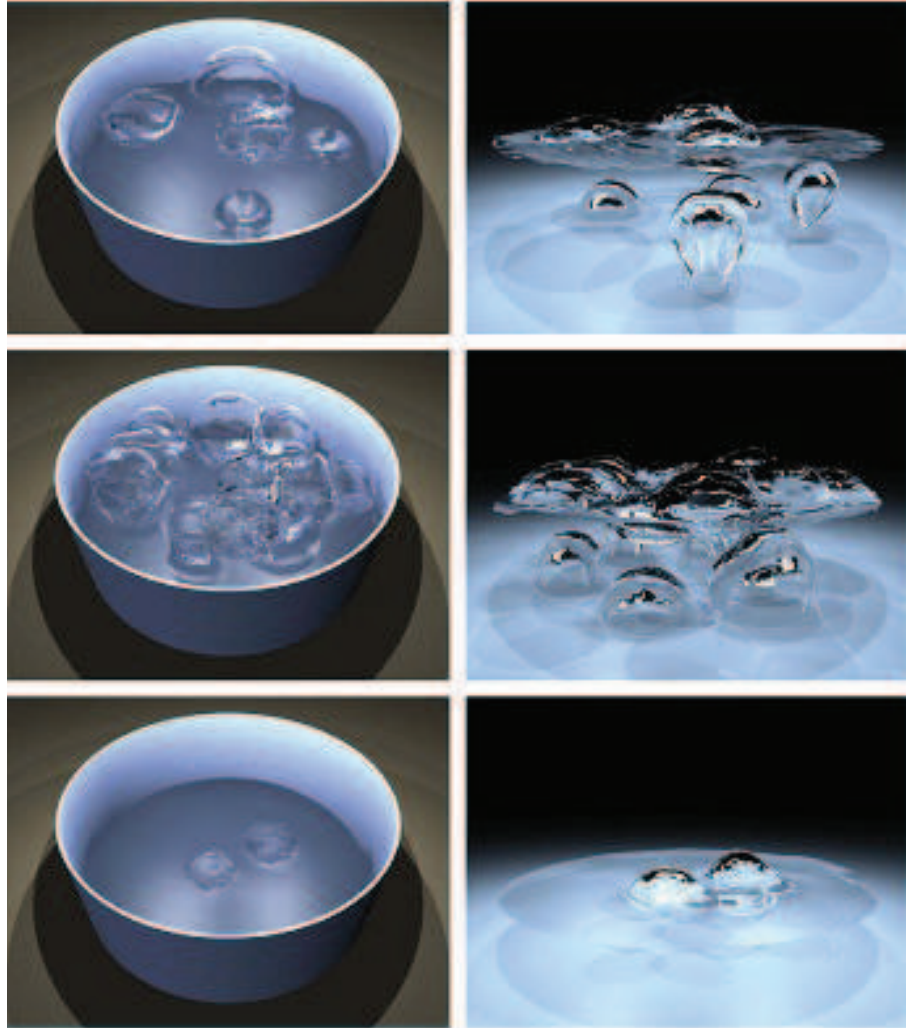


Figura 1.13: *Ejemplo de simulación de agua hirviendo*[16]

### 1.3. Simulación de partículas en ambientes virtuales

---

una gran cantidad de burbujas y ser controladas. Para su manejo se asume que es un flujo de dos fases incompresible y viscoso, con el uso de las ecuaciones de Navier-Stokes[17] (Figura 1.14).

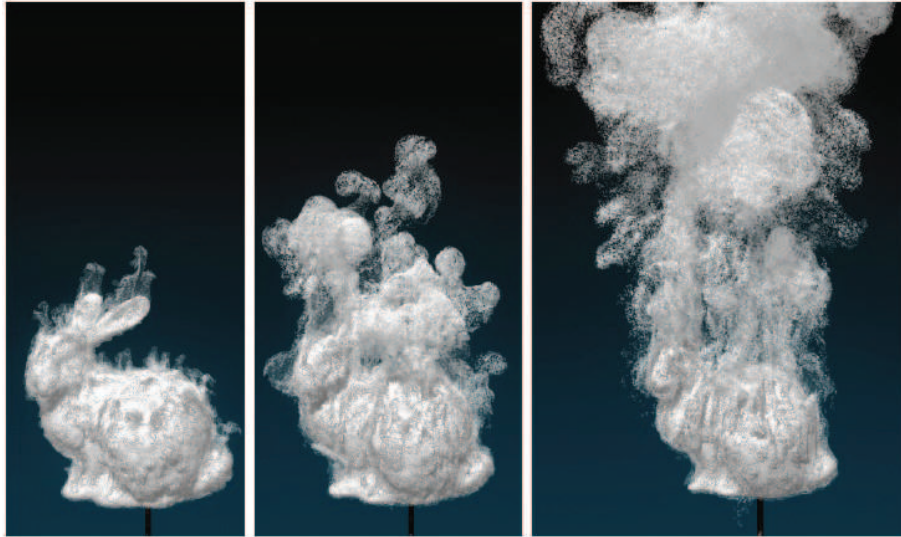


Figura 1.14: *Generación de burbujas alrededor de un objeto*[17]

#### 1.3.3. Simulación de partículas y el ambiente gráfico RTUP del CCADET

Como hemos visto, las partículas son elementos que enriquecen a los ambientes gráficos, dándoles un mayor atractivo visual.

Es por esto que en el simulador de cirugía de próstata del CCADET, se tiene como objetivo agregar elementos que favorezcan a la representación del mundo real en un ambiente gráfico, así como para el entrenamiento y mejora de habilidades del residente en la especialidad de urología.

A través de la implementación de simulación de partículas, se busca no solo obtener una mejora visual, sino también se requiere que los estudiantes hagan uso de todas sus habilidades y sentidos, ya que representan un reto que los estudiantes deben de superar. Por ejemplo cuando en un procedimiento real, al cortar se producen hemorragias que obstruyen la visibilidad, el médico debe tener la capacidad de orientarse con poca o nula visibilidad.