

# Design of immersive experience in virtual laboratories

Juan Francisco Cabrera Ramos  
Departamento de Educación Media  
Facultad de Educación  
Universidad Católica de Temuco  
La Araucanía, Chile  
jcabrera@uct.cl

Ariane Alvarez Alvarez  
Escuela de Diseño  
Facultad de Artes  
Universidad Mayor  
Santiago de Chile, Chile  
ariane.alvarez@umayor.cl

Juan Alcides León Méndez  
Centro de Investigaciones  
Hidráulicas  
Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad Tecnológica de La  
Habana  
La Habana, Cuba  
aleonm@cih.cujae.edu.cu

**Abstract**—Recommendations for the design of the immersion experience in virtual laboratories are presented with a focus on the design of learning experience in non-immersive contexts. The proposal is focused on the development of virtual laboratories with a high level of credibility at the lowest possible cost, based on the emphasis on the elements that are essential for learning. The result is conceived on the analysis with an auto ethnographic approach from an interpretative paradigm based on the results of three research projects for the development of virtual laboratories, during eight years and over 12 laboratory simulations.

**Palabras clave**—realismo, inmersión, laboratorio virtual, diseño, aprendizaje

## I. INTRODUCCIÓN

La literatura científica muestra un amplio número de contribuciones sobre laboratorios virtuales. Se hace énfasis en su carácter de sustitutos de laboratorios reales o remotos [1], en su cualidad de simulación de la realidad, en sus posibilidades de interacción [2], [3] y en su carácter de entornos virtuales que permiten socialización y gestión. Sin embargo, muchas de las definiciones que se encuentran en la literatura adolecen de su consideración como objeto de aprendizaje. Para los autores de este artículo un laboratorio virtual es un medio para simular fenómenos y procesos con fines docentes.

Como objeto de aprendizaje, el laboratorio virtual posee una relación dinámica con los demás componentes del proceso de enseñanza aprendizaje. Su efectividad, por tanto, está comprometida con la coherencia de su inserción en el sistema de medios, con la proyección pedagógica implícita, la forma en que soporta los métodos y propicia la evaluación. Un laboratorio virtual será efectivo en la medida que responda a las exigencias pedagógicas y logre adecuarse al contexto y condiciones del proceso de enseñanza-aprendizaje y es clave en el diseño de experiencias de aprendizaje de calidad.

Según el grado en que reproducen la realidad y su interactividad, es común escuchar que las prácticas de laboratorio en entornos virtuales pueden remplazar a los laboratorios tradicionales, e incluso al trabajo práctico del estudiante en escenarios reales. No obstante, en ello influyen múltiples factores, tales como el enfoque pedagógico, la calidad de los medios y la naturaleza del tema que se pretende enseñar.

Los laboratorios virtuales brindan la posibilidad de experimentar a través de una interfaz gráfica, pueden ser usados en cualquier lugar y momento y permiten al estudiante repetir la experiencia a voluntad [4], [5].

En el análisis de la literatura se encuentran dos tendencias bien marcadas en cuanto a la representación de la realidad en laboratorios virtuales: la representación realista y la representación abstracta. La realista se centra en el mimetismo con que se reproduce la apariencia y comportamiento de artefactos y fenómenos. En ello se consideran las formas, texturas, color, el factor escala, la atmósfera, las relaciones espaciales, los sonidos propios de los artefactos y del ambiente. La representación abstracta se sustenta en símbolos que constituyen convenciones con todo el significado necesario para operar.

Desde ambas posiciones se trabaja la inmersión como cualidad, la que es considerada como una propiedad objetiva de un ambiente o sistema orientada a la creación de la sensación de presencia [6], [7]. La sensación de estar inmerso cuando se desarrolla una práctica de laboratorio virtual depende de una configuración compleja de factores, donde destaca la credibilidad [8], marcada por el grado de realismo de la propuesta [9]. Una visión limitada de realismo puede llevar al incremento del nivel de representación mimética de la realidad y un aumento notable de los costos de desarrollo sin que se genere un impacto real en el aprendizaje.

En cualquiera de los posibles escenarios, la sensación de inmersión es un elemento clave en el aprendizaje y debe diseñarse cuidadosamente. En la literatura se hace referencia al realismo como condición básica de un laboratorio virtual [8], [10], [11], sin embargo, se centra en cómo propiciarlo desde las condiciones internas y externas, donde no siempre es considerada la proyección pedagógica. Desde una visión más integral, el énfasis en la simulación debe ser puesto en aquello que tribute en mayor medida al proceso de enseñanza aprendizaje a partir de una buena relación costo-beneficio.

Ante la declaración de los propósitos del presente trabajo, resulta importante destacar que el estudio sustenta su pertinencia en las potencialidades que poseen los laboratorios virtuales como estrategia de contextualización del aprendizaje en entornos de formación presencial intensivos en TIC y en la formación en línea y a distancia. Responde además a la necesidad de que la concepción de

medios para estos escenarios priorice la dimensión pedagógica en el manejo de criterios.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

La literatura científica recoge un grupo de reportes relevantes en el tema:

En [8], [12] se establecen los criterios de posibilidad, plausibilidad y existencia como base de los juicios de verosimilitud. Ello tiene implicaciones en la manera en que se concibe una práctica realista y en cómo se mide dicho constructo.

En [13] se establece que la relación entre la fidelidad de la simulación y los resultados de aprendizaje no es lineal, por lo que deben considerarse otros factores.

En [11], [14] se llevan a cabo varios estudios sobre la credibilidad y el realismo de un laboratorio virtual basado en simulación y se establecen consideraciones sobre cómo conseguir resultados que se perciban realistas.

En [15] se plantea que la autenticidad de una simulación depende de su autenticidad interna (coherencia), su autenticidad externa (apego a la realidad) y la autenticidad didáctica (relevancia). Se asume esta estructura factorial reconociendo que la relevancia didáctica debe condicionar la autenticidad interna y externa.

En [16] se experimenta con laboratorios basados en fotos y en esquemas y se muestra que los estudiantes perciben más realistas los laboratorios basados en fotos. Ello se relaciona a sus niveles de concreción y resolución. En este resultado puede estar influyendo las carencias del otro medio utilizado en la comparación.

En [17] se experimenta con realidad virtual inmersiva y se llega a la conclusión de que se logra la inmersión. No obstante, no se consiguen los niveles de aprendizaje pretendidos debido a la sobrecarga y a la distracción que genera este tipo de entorno. Ello apunta a que la inmersión debe diseñarse cuidadosamente y que más tecnología no necesariamente lleva a más aprendizaje.

En [18] se establece que no hay diferencias sustanciales en el aprendizaje de la física con el uso de laboratorios presenciales y virtuales, lo que confirma una vez más que los laboratorios virtuales son recursos de gran valor en la enseñanza y que para determinados temas pueden emplearse en lugar de los laboratorios tradicionales.

En [19] se proponen modelos de indicadores de realismo percibido en el contexto de videojuegos. Sus componentes son el realismo de simulación, la libertad de elección, la penetración perceptual, el realismo social, la autenticidad y participación del personaje. Más tarde en [20] se presenta un estudio de las dimensiones del realismo en la simulación de juegos digitales. Se establece una definición dimensional de realismo y se elabora y valida un instrumento para su medición.

En [21] se propone y valida un cuestionario para medir la presencia en entornos virtuales a partir de factores de control, sensoriales, de distracción y de realismo.

En [22] se presenta un modelo de diseño instruccional y los criterios para el diseño y desarrollo de laboratorios virtuales en línea.

En [23] se establecen apuntes para una estrategia pedagógico-tecnológica para el desarrollo de laboratorios virtuales. Dicha propuesta es obtenida desde uno de los proyectos en que participan los autores de este trabajo y sirvió de base para el desarrollo de un grupo de prácticas de laboratorio.

En [24], trabajo también relacionado con los autores de este artículo, se muestra una experiencia en que se acompaña al docente a través de su participación activa en el desarrollo de laboratorios virtuales y en [25] se reporta el impacto positivo de esta iniciativa.

## III. MÉTODOS

Se lleva a cabo un estudio de casos con enfoque auto etnográfico [26]–[29] desde una posición analítica [30] bajo el paradigma interpretativo, orientado a la extracción de conocimientos sobre la percepción de realismo a partir de la participación de los autores, durante ocho años, en tres proyectos de desarrollo de laboratorios virtuales y sobre la virtualización de 12 prácticas de laboratorio.

Los casos comentados corresponden a ciclos de desarrollo y prueba de laboratorios virtuales destinados a la enseñanza de las Ciencias Técnicas. Estos proyectos involucran a la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM) de Venezuela, a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), Perú y a la Universidad Tecnológica de la Habana, (CUJAE) en Cuba.

Los investigadores sintetizan los resultados desde su participación en cada uno de los casos. Se utiliza la técnica de análisis de contenido sobre los informes de proyecto, las narrativas de los autores desde su rol de participantes comprometidos, las encuestas aplicadas a docentes, estudiantes y equipos de desarrollo a través de los diferentes casos.

Se utiliza NVivo en su versión 12. En el análisis se codifica y estructura la información obtenida hasta dar forma al sistema de recomendaciones, a partir de la definición de pasos para el desarrollo de categorías inductivas y deductivas basado en [31].

## IV. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE LA EXPERIENCIA DE INMERSIÓN EN LABORATORIOS VIRTUALES

Las recomendaciones descritas a continuación son el resultado del proceso de síntesis. Se estructuran de forma que resulten de utilidad práctica para los actores encargados de concebir el realismo durante el desarrollo de laboratorios virtuales.

Han sido organizadas a partir de tres dimensiones que, aunque emergen del contenido, son coherentes con [15]: relevancia, apego a la realidad y coherencia.

La relevancia se sustenta en la autenticidad didáctica y es considerada la dimensión determinante en el logro de la percepción de realismo. A su vez condiciona las dimensiones restantes, lo que se hace evidente en los múltiples puntos de contacto.

## A. Autenticidad didáctica (relevancia).

### 1) Modelar con centro en el aprendizaje, no en artefactos.

La modelación de escenarios no debe ser guiada por el afán de reproducir la realidad, sino por el análisis sistemático de las influencias en que se integra el estudiante que lleva a cabo la práctica.

A los propósitos del realismo se suele incluir en la interfaz de los laboratorios virtuales algunos elementos a modo de ambientación, tales como muebles, documentos, herramientas, etc. Estos artefactos pueden generar incertidumbre y se convierten en una distracción, más aún cuando no se les ha previsto interacción o se les asigna una interacción no significativa.

Vale destacar que soluciones de esta naturaleza suelen influir en la sensación de inmersión solamente en los primeros momentos de la interacción. Siendo consecuentes con la idea de que lo que más influye en la credibilidad y sensación de inmersión es la actividad que se propicia la sobresaturación de la interfaz dificulta la concentración de la atención en lo que es realmente importante. Adicionalmente obliga a una implementación más compleja, en la medida que los objetos a vista deberían tener previsto algún grado de interacción aun cuando no resulten importantes para la realización de la actividad. El intento de hacer funcionar algo que no tiene asociada interactividad puede ser motivo de frustración para el estudiante.

En el proceso de desarrollo de guiones para el diseño de laboratorios virtuales los profesores, especialistas en contenidos de las prácticas, suelen pedir la inclusión del recorrido para llegar a las instalaciones del laboratorio. En varios casos, los mismos profesores han cambiado de parecer al comprender el limitado impacto que pudiera tener este preámbulo en el aprendizaje y su alto costo de desarrollo.

La modelación de escenarios debe partir de la diagramación de los procesos de análisis y la influencia de cada paso en el desarrollo de la competencia, de manera que la práctica se desarrolle con énfasis en el eje pedagógico.

La filmación y descripción exhaustiva del ensayo de laboratorio real y la elaboración de diagramas de flujo para la representación de las operaciones que tributan al logro de competencias, permiten establecer niveles de prioridad en la representación realista de los equipos, dispositivos y niveles de interacción. De igual forma permite establecer escenarios que respondan a diferentes momentos del proceso para evitar la sobresaturación de la interfaz y permitir un mejor acercamiento a los artefactos que deben ser intervenidos.

Estos recursos para la recopilación y organización de la información de las prácticas de laboratorio permitieron considerar el error y programar sus consecuencias, lo que muchas veces es obviado por los profesores y técnicos de laboratorio, más acostumbrados a la reproducción lineal del procedimiento experimental.

### 2) Diseñar la orientación de la práctica.

Con independencia de los niveles de veracidad logrados en el laboratorio virtual, los docentes pueden condicionar el nivel de realismo con que los estudiantes percibirán la práctica.

Los autores han sido testigos de procesos de inducción de prácticas de laboratorio donde se consigue un nivel notable de realismo en la representación, que al ser mal presentadas a los estudiantes por su profesor han perdido su impacto en la sensación de inmersión. Se observa con frecuencia que el empleo de laboratorios parte de la reproducción de los procedimientos y de la vinculación de los estudiantes a los signos, sin previa vinculación a los objetos y fenómenos que dichos signos representan. En esos casos la enseñanza suele ser sustentada en la síntesis o lógica del docente, transmitida a modo de receta, lo que limita las posibilidades de experimentación.

Es recomendable que los docentes estén debidamente preparados para la orientación del trabajo con el laboratorio virtual. La vinculación activa del docente en el desarrollo de la práctica es clave en su preparación y determinará la visión de un laboratorio como una solución y no como un producto [25]. No obstante, las prácticas de laboratorio serán aplicadas por muchos que no participaron en su concepción. Por ello resulta muy necesario que se incluyan en la aplicación las orientaciones metodológicas concretas para la fase de orientación.

Se debe informar al estudiante sobre las condiciones en que debe llevar a cabo su práctica, el tiempo que le tomará, necesidades de audífonos, cronómetros, libreta de apuntes, entre otros. La orientación debe incluir la búsqueda de espacios tranquilos en que se pueda desarrollar la actividad para evitar las interrupciones.

Las orientaciones para el desarrollo de las prácticas deben ser diseñadas de forma exhaustiva, propiciando la cantidad justa de información en el momento que el estudiante lo demande. Estas orientaciones no son solo previas a la práctica, sino durante la misma. La contextualización de las orientaciones y ayudas, a la situación y condiciones en que se encuentra el estudiante al acceder a ella, tributan de forma notable a la sensación de inmersión.

Durante la producción de un laboratorio virtual para ingeniería civil, asociado a un ensayo con probetas de hormigón, se elaboró una orientación interactiva e ilustrada, además se incluyeron animaciones simples, que graficaban los elementos y su comportamiento. En las pruebas con estudiantes se destacó la fácil comprensión lograda y la disminución del estrés pre-ensayo.

### 3) Considerar la experiencia previa del estudiante.

En la medida que se logran asociaciones con la experiencia previa del estudiante aumenta la significatividad del aprendizaje y se pierde menos tiempo en la familiarización con la interfaz. La experiencia inmersiva en un laboratorio virtual debe propiciarse considerando todo el proceso de interacción con el laboratorio, desde la orientación de la actividad.

En el caso en que los estudiantes han manipulado los objetos reales o al menos han visto en vídeo el comportamiento de los artefactos ha resultado más fácil

establecer la sensación de realismo a pesar de la mediación de las operaciones a través del teclado o ratón. Estudiantes entrevistados durante la inducción de dos prácticas para la enseñanza de la hidráulica, asociaron los laboratorios virtuales con los juegos electrónicos. Los estudiantes que poseen más experiencia en juegos de computador se familiarizan mucho más fácil con la interfaz gráfica pero sus expectativas en cuanto a retroalimentación, ritmo, efectismo, etc. son muy superiores a la media y por tanto suelen perder el interés por el laboratorio con mayor facilidad.

#### 4) *Propiciar la motivación.*

En la medida que el estudiante se encuentre más dispuesto a la experiencia aumentarán las posibilidades de lograr una inmersión temprana y efectiva.

Las expectativas alrededor de la experiencia en el laboratorio están altamente condicionadas por la relevancia de su introducción en el proceso docente, por su coherencia con el sistema de medios, por la preparación previa (teórico-práctica) y por su incidencia en la evaluación. El hecho de que la experiencia en el laboratorio se asocie a una calificación podría atentar contra la autenticidad y espontaneidad de la misma, a partir del estrés que ello genera y de los propios procesos que involucra. En estos casos los estudiantes se cuidan de no cometer errores y consultan constantemente la ayuda y los procedimientos, en detrimento de la experiencia inmersiva.

### B. *Autenticidad externa (apego a la realidad).*

#### 1) *Procurar una interfaz autoevidente y poco invasiva.*

La narrativa implícita en el laboratorio virtual compromete en buena medida los niveles de navegación, los escenarios a representar y las opciones para interactuar con todos los artefactos disponibles.

Una interfaz autoevidente implica que el estudiante descubra fácilmente cómo proceder y que ello se haga de la forma más natural posible. Por natural no se entiende la copia literal de la realidad representada, sino la lógica de la interacción mediada por interfaz de computadora, ya arraigada a través de los juegos digitales y la cultura en el manejo de los periféricos como mouse y teclado. Ello excluye el caso de las interfases inmersivas por medio de guantes.

Las opciones de navegación de índole general, o sea, que no están directamente asociadas a las operaciones que involucran a los artefactos, por ejemplo: selección de problema, salvar el estado de la práctica, acceso a manual de ayuda, etc., no deben interferir o bloquear la acción. Es deseable que solo aparezcan cuando el estudiante los necesita y haga una acción específica para utilizarlos.

#### 2) *Simular la realidad, no el laboratorio real.*

Salvo en los laboratorios virtuales especialmente concebidos como entrenadores para el empleo posterior del laboratorio real, debe valorarse la opción de modelar los fenómenos en su estado natural.

Muchas veces se simula un equipo presente en el laboratorio, cuando ya ese equipo es, de por sí, una simplificación de la realidad. Debe valorarse la mejor opción a partir de un riguroso análisis con los expertos en

el área a modelar. Se debe valorar que muchos laboratorios tienen equipos que no son simuladores y que en ellos se cumplen todas las cualidades de la realidad. Un ejemplo de ello son los bancos de tuberías para la enseñanza y experimentación en ingeniería hidráulica.

#### 3) *Acotar el acercamiento.*

Las interfaces de laboratorios virtuales, con el afán de mostrar la mayor cantidad de artefactos a la vez, tienden a sobresaturar la pantalla. En algunos laboratorios se prevé que el estudiante se traslade en las direcciones derecha e izquierda alcanzando partes ocultas del escenario y/o a delante y atrás para lograr acercarse o alejarse de los artefactos. Lograr que se perciba natural este tránsito no exige necesariamente un comportamiento hiperrealista. El estado inicial y el deseado puede ser conectado con un clic en la medida que el discurso gráfico se pliegue a la funcionalidad y la representación del detalle o acercamiento responda a las necesidades concretas del estudiante. Debe ser considerado el tipo de dispositivo utilizado, la velocidad de reacción a partir de la calidad del computador y la resolución de pantalla.

En el diseño de un laboratorio de mecánica de suelos (figura 2) se aplicó con éxito un mecanismo propio de los juegos de computador para simular la manipulación de objetos. Al hacer clic sobre un objeto de la mesa éste desaparecía para mostrarse, parcialmente y en zoom, en la zona inferior de la pantalla. Ello daba la idea de que el objeto quedaba en manos del usuario. El efecto, resuelto en dos pasos (estado inicial y final de la acción), fue la alternativa a muchas horas de trabajo para representar los recorridos y generar la retroalimentación ante la acción.

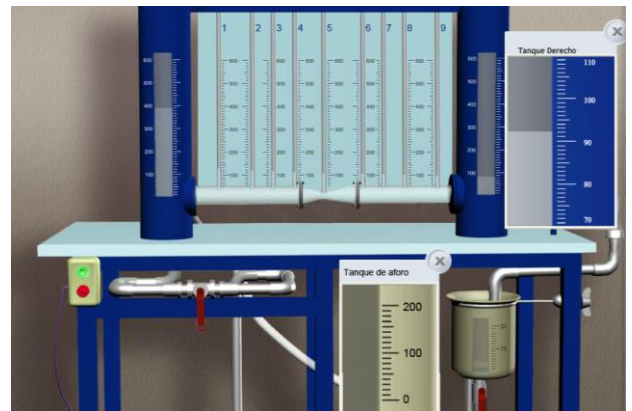


Fig. 1. Acercamiento a los controles en un laboratorio virtual.

#### 4) *Controlar el ritmo*

El ritmo en el laboratorio virtual alude fundamentalmente a la estabilidad de la demanda de atención y acción. En cuanto a la interfaz deberá cuidarse el balance en el empleo de recursos multimedia, en las representaciones efectistas, en la factura de los videos, etc. Es común que el equipo de desarrollo economice de forma progresiva los efectos en función del vencimiento de los plazos del proyecto.

Otro elemento que, en nuestra experiencia, puede atentar contra el ritmo es el salto que se genera entre la gráfica del laboratorio, con una atmósfera e interacción bien diseñadas y la solución de implementación del módulo de ayudas y contenidos teóricos. Este último, en

muchos casos, se produce en la etapa final del proyecto y su visualización implica salir de la interfaz de la aplicación para abrir un navegador web.

#### 5) *Diseñar preferiblemente entornos 2.5D.*

Los entornos 2.5D tienen muchas ventajas sobre los entornos 3D, entre las que destacan la simplificación de la interacción, la facilidad de construcción de escenarios y la ganancia en la resolución de pantalla. Ello se traduce, además del acortamiento de los plazos de desarrollo, en una mayor atención a los detalles relevantes.

Sobre la sensación de inmersión en entornos 3D es importante desmitificar el efecto de la orientación espacial. Resulta complejo para muchos estudiantes comprender la posición relativa de los artefactos y calcular el trabajo para llegar a interactuar con ellos. En una práctica de laboratorio desarrollada en uno de los proyectos analizados para la enseñanza de la física, se empleó un sistema de inmersión con tecnología Oculus Rift (TM) para interactuar con un péndulo. Además de las molestias que generaba el casco y la adaptación a los sistemas de referencia, el hecho de poder activar el péndulo con la mano no generaba un resultado relevante en cuanto a la sensación de inmersión y en aprendizaje que justificase el despliegue tecnológico. Súmese que la experiencia de hacer pendular un objeto está implícita en todos desde edades tempranas.

#### 6) *Potenciar la retroalimentación sonora.*

El sonido es uno de los principales recursos de retroalimentación que propicia sensación de inmersión. Se debe evitar la música de fondo. Es deseable capturar el sonido de la realidad que se está modelando [32] y representarlo en total sincronía con el escenario modelado. En varios laboratorios desarrollados se estableció el uso de protección sonora como elemento de seguridad y el sistema daba retroalimentación diferenciada en dependencia de si el estudiante la estaba utilizando o no. Ello se convirtió en un medio efectivo para el desarrollo de hábitos de protección como parte de la competencia profesional. En casos en que los estudiantes no han contado con audífonos para realizar las prácticas se ha observado que la concentración y la certeza de logro de una acción se ven notablemente afectadas.

#### 7) *Flexibilizar la interacción.*

Los escenarios modelados no pueden responder linealmente a un procedimiento de práctica. El estudiante debe tener libertad de interacción y para ello debe concebirse un modelo de respuesta coherente a cada caso. Cualquier variante de interacción que pueda ser llevada a cabo en el escenario real debería ser posible en el escenario virtual, siempre y cuando tenga valor didáctico y favorezca la libertad de pensamiento y creatividad.

#### 8) *Establecer compromisos con el sistema simbólico.*

Debe haber alto nivel de coherencia con la interfaz del soporte digital, de manera que haya equilibrio entre la interacción natural y las vías de representación. Una vez establecida una convención debería ser estable entre diferentes escenarios y en diferentes simulaciones. Al negociar los códigos de interacción se percibirá realista cualquier implementación de la convención. Mientras más

experiencia tenga el estudiante con el escenario, más fácil será sustituirlo por un sistema simbólico alternativo.

#### 9) *Optimizar la representación visual.*

Ante entornos desconocidos es preferible utilizar fotos o videos reales y no su representación abstracta. Se ha podido observar que los niveles de abstracción en la representación visual tienen una correlación inversa con la inmersión en los estudiantes con poca experiencia.



Fig. 2. Escenario de un laboratorio virtual resuelto con fotografía.

#### 10) *Implantar el sistema simbólico.*

Al trabajar sobre un sistema simbólico desconocido para el estudiante es recomendable que se establezcan prácticas de familiarización en las que tenga acceso a los objetos reales y se establezcan paralelos con su representación virtual en cuanto a apariencia y comportamiento. En la medida que el estudiante se apropie de la interfaz logrará automatizar los procesos no fundamentales para centrar la atención en la actividad de aprendizaje.

En una prueba de usabilidad de laboratorios de hidráulica, en la CUJAE, los estudiantes que anteriormente habían interactuado con laboratorios virtuales del paquete de prácticas MULTIH-VIRTUAL se encontraron en franca ventaja con respecto a los que se iniciaban en la experiencia. Esto resultó notable aun cuando la interfaz de los laboratorios que se probaron resultaba, en buena medida, diferente a la de sus antecesores.

#### 11) *Economizar mediadores en la interfaz.*

Dedicar tiempo al diseño de manos que sostengan objetos cuando la interacción del estudiante se da a través de un ratón o de una pantalla táctil tiene poco sentido. Súmese el efecto negativo que se establece cuando el estudiante no reconoce como suyas las manos que se muestran. Los asistentes en pantalla, por su parte, generan distracción y atentan contra la credibilidad de la experiencia. Los asistentes jugaron un papel mediador años atrás, cuando los estudiantes tenían muy poca experiencia en el empleo de artefactos computacionales. No se justifica salvo en algunas aplicaciones en que se constituye en un personaje activo en la práctica, que influye o condiciona la actividad.

### C. Autenticidad interna (coherencia).

#### 1) Fidelizar el comportamiento funcional.

Los estudios de usabilidad de los laboratorios virtuales realizados con estudiantes nos han permitido constatar que la sensación de inmersión depende más de cómo se comporta el escenario que de cómo se ve físicamente. Debe prestarse especial atención a los modelos matemáticos, los grados de libertad, las dinámicas, las ventanas de tiempo, los tiempos de respuesta de la simulación y a la calidad e inmediatez de la retroalimentación. Si se deja un grifo abierto debería desbordarse el agua, los objetos deberían ser sensibles de quebrarse o quemarse en caso de que se sometan a golpes o calor [32]. Un comportamiento realista aporta a la credibilidad de la propuesta y debe ser diseñado con detalle para que se convierta en un recurso didáctico y no afecte la calidad y el costo total del proyecto.

Los equipos de medición del laboratorio virtual deben representar el error sistemático de los equipos reales y la secuencia presente en meniscos, agujas o pantallas digitales de esos equipos, de manera que además favorezca la habilidad en el uso de la técnica de medición.

Cómo actúa con la grasa en la caja	Durante el arme de la caja de corte	Durante el desarme de la caja de corte
Engrasa la caja una vez	Al colocar el suelo en la caja hay que hacer más fuerza (dos empujes)	Al sacar la muestra de la caja esta sale con los bordes deformados. <b>Debe dar un error en los datos.</b>
Engrasa la caja más de una vez	Al colocar el suelo en la caja hay que hacer más fuerza (dos empujes)	El suelo sale entero de la caja. Se contamina la muestra. <b>Debe dar un error en los datos.</b>
No engrasa la caja	Al colocar el suelo en la caja hay que hacer más fuerza (tres empujes)	La muestra no sale de la caja. Es necesario romper la muestra para sacarla. Aquí hay que cuidar echar todo el suelo en el <b>pesafiltro</b> , pues se altera la masa a pesar.

Fig. 3. Ejemplo de detalle de instrumento de trabajo para la producción de un laboratorio que especifica la interacción durante el procedimiento experimental e ilustra cómo es considerada la posibilidad de error desde el diseño.

#### 2) Guardar estado de avance en la práctica.

Muchos de los estudiantes entrevistados en los últimos años declaran que resulta estresante no tener conciencia de cuánto le puede tomar la ejecución total de la actividad y se sienten inquietos ante la posibilidad de diferir la ejecución de una práctica. Al ofrecer esta opción se neutraliza el estrés que puede generar este tipo de actividad y que atenta contra la inmersión. Esto tiene más sentido en prácticas de larga duración. La posibilidad de recapitular en breves minutos sobre lo realizado en una sesión anterior puede contribuir a retomar rápidamente la inmersión.

#### 3) Propiciar interacción multiusuario.

Al tener acceso desde la simulación a datos de otros estudiantes en tiempo real, se percibe mucho más realista la interacción. Es interesante que se puedan establecer escenarios en que se trabaje en equipos y se delimite el rol de cada participante. Estos escenarios compensan la necesidad de sincronía temporal con unos magníficos resultados en cuanto a la sensación de presencia y el compromiso con las tareas. Es importante señalar que esta funcionalidad significa un mayor costo en implementación.

#### 4) Fidelizar la representación temporal.

La representación de los tiempos que toman los procesos constituye un factor fundamental en la percepción de realismo. Los procesos de corta duración deben desarrollarse en tiempo real mientras los de larga duración deben ser representados de modo que el estudiante sea consciente de su lapso real. Esto es fundamental cuando la práctica en el laboratorio virtual es una preparación para el laboratorio real. Muchos procesos toman días, los que deben ser planificados con detalle. La falsa percepción de inmediatez atenta contra la experiencia.

#### 5) Simplificar la modelación de lo que no desarrolla competencias.

Las operaciones no asociadas al desarrollo de habilidades, hábitos y/o conocimientos no requieren ser incluidas dentro de las acciones modeladas. Por ejemplo, en una práctica de mecánica de suelos la preparación del ensayo de Proctor requería la mezcla homogénea del suelo a utilizar. En ese caso fue suficiente la colocación de un video en que se mostrara el procedimiento seguido para mezclar la tierra. De esta forma se simplificó la modelación y programación de la práctica sin afectar el nivel de realismo de la experiencia.



Fig. 4. Video demostrativo en lugar de modelación.

## V. IDEAS FINALES

La presente propuesta es el resultado del análisis de 12 prácticas de laboratorio a través de la síntesis de las vivencias de sus autores y de la documentación obtenida durante la participación en los tres proyectos analizados. Aunque la propuesta es el resultado de un análisis minucioso del contenido, solo representa la realidad analizada y no tiene la intención de ser una receta universal para garantizar el realismo.

Se reconoce que la percepción de realismo está también asociada a las vivencias y características de cada sujeto [21], [33], por lo que el elemento cultural debe ser valorado a la hora de diseñar este tipo de simulaciones educativas.

La experiencia inmersiva en un laboratorio virtual debe propiciarse considerando todo el proceso de interacción con el laboratorio, desde la orientación de la actividad. No obstante, si el laboratorio virtual se inserta coherentemente en el sistema de medios de la asignatura, bajo una proyección pedagógica adecuada, sus posibilidades de

éxito se incrementarán y en ello será más efectiva la experiencia inmersiva.

Para propiciar inmersión en el laboratorio virtual el centro de atención deber estar en la actividad de enseñanza-aprendizaje. Se pueden establecer diferencias sustanciales en la interacción con el laboratorio desde la definición de varias etapas desde el diseño de la experiencia de aprendizaje, las que incluyen la preparación, la orientación, la ejecución y el cierre.

Finalmente se establece que no existen conflictos de interés entre los autores y se reconoce que la síntesis actual está estructurada sobre la sistematización de ideas de los investigadores, técnicos, docentes y estudiantes que participaron en los tres proyectos que sirven de base a la propuesta.

## VI. REFERENCIAS

- [1] M. López García, «Los laboratorios virtuales aplicados a la biología en la enseñanza secundaria: una evaluación basada en el modelo CIPP», 2009.
- [2] S. Dormido, J. Sánchez, y F. Morilla, «Laboratorios virtuales y remotos para la práctica a distancia de la Automática», en *XXI Jornadas de Automática, Conferencia plenaria*, 2000.
- [3] J. Monge-Nájera, M. R. Rossi, y V. H. Méndez-Estrada, «La evolución de los laboratorios virtuales durante una experiencia de cuatro años con estudiantes a distancia», en *XI Congreso Internacional sobre Tecnología y Educación a Distancia*, 2002, vol. 5.
- [4] I. C. Gordillo, E. Z. Guerrero, U. G. Gurtubay, y J. M. L. Guede, «Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas», *Ikastorratza E-Rev. Didáctica*, n.º 3, pp. 1–21, 2008.
- [5] J. M. Nájera y V. H. M. Estrada, «Ventajas y desventajas de usar laboratorios virtuales en educación a distancia: la opinión del estudiantado en un proyecto de seis años de duración», *Rev. Educ.*, vol. 31, n.º 1, pp. 91–108, 2012.
- [6] M. Slater, «How colorful was your day? Why questionnaires cannot assess presence in virtual environments», *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 13, n.º 4, pp. 484–493, 2004.
- [7] B. Dalgarno y M. J. W. Lee, «What are the learning affordances of 3-D virtual environments?», *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 41, n.º 1, pp. 10–32, ene. 2010.
- [8] M. Couture, «Realism in the design process and credibility of a simulation-based virtual laboratory», *J. Comput. Assist. Learn.*, vol. 20, n.º 1, pp. 40–49, 2004.
- [9] M. J. Piassentini y M. Occelli, «Caracterización de Laboratorios Virtuales para la enseñanza de la Ingeniería Genética», en *Memorias de las X Jornadas Nacionales y V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología. Villa Giardino. Córdoba: Asociación de Docentes de Ciencias Biológicas de la Argentina. ISBN*, 2012, vol. 978, p. 21701.
- [10] S. Hennessy y T. O'Shea, «Learner perceptions of realism and magic in computer simulations», *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 24, n.º 2, pp. 125–138.
- [11] A. Francis y M. Couture, «Credibility of a simulation-based virtual laboratory: An exploratory study of learner judgments of verisimilitude», *J. Interact. Learn. Res.*, vol. 14, n.º 4, p. 439, 2003.
- [12] W. R. Elliott, «Measuring the Perceived Reality of Television: Perceived Plausibility, Perceived Superficiality and the Degree of Personal Utility.», 1983.
- [13] S. M. Alessi, «Fidelity in the design of instructional simulations.», *J. Comput.-Based Instr.*, 1988.
- [14] M. Couture, «Realism in the design process and credibility of a simulation-based virtual laboratory», *J. Comput. Assist. Learn.*, vol. 20, n.º 1, pp. 40–49, 2004.
- [15] C. Gonçalves, M.-C. Croset, M. Ney, N. Balacheff, y J.-L. Bosson, «Authenticity in learning game: how it is designed and perceived», en *European Conference on Technology Enhanced Learning*, 2010, pp. 109–122.
- [16] E. Ozdemir, U. Ustun, y K. E. Bagriyanik, «How credible are the virtual laboratories? a comparison of the photographic and non-photographic virtual experiments about resistivity», presentado en *ESERA 2017 Conference*, 2017, p. 3.
- [17] G. Makransky, T. S. Terkildsen, y R. E. Mayer, «Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning», *Learn. Instr.*, dic. 2017.
- [18] Z. C. Zacharia y G. Olympiou, «Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning», *Learn. Instr.*, vol. 21, n.º 3, pp. 317–331, jun. 2011.
- [19] W. Ribbens, «Perceived Game Realism: A Test of Three Alternative Models», *Cyberpsychology Behav. Soc. Netw.*, vol. 16, n.º 1, pp. 31–36, ene. 2013.
- [20] W. Ribbens, S. Malliet, R. Van Eck, y D. Larkin, «Perceived realism in shooting games: Towards scale validation», *Comput. Hum. Behav.*, vol. 64, pp. 308–318, nov. 2016.
- [21] B. G. Witmer y M. J. Singer, «Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire», *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 7, n.º 3, pp. 225–240, jun. 1998.
- [22] M. E. Ahmed y The Society of Digital Information and Wireless Communication, «An instructional design model and criteria for designing and developing online virtual labs», *Int. J. Digit. Inf. Wirel. Commun.*, vol. 4, n.º 3, pp. 355–371, 2014.
- [23] J. A. León Méndez, «Consideraciones acerca de las estrategias tecnológicas y pedagógicas en el diseño de laboratorios virtuales para asignaturas de ingeniería», presentado en *XII Congreso Internacional de Educación a Distancia*, 2004.
- [24] A. A. Alvarez, J. F. C. Ramos, y R. C. Delgado, «Elementos a considerar en el acompañamiento a profesores durante la producción de laboratorios virtuales», *Rev. Ref. Pedagógica*, vol. 3, n.º 2, pp. 128–137, 2015.
- [25] A. Á. Álvarez, J. F. C. Ramos, y R. C. Delgado, «Vinculación del profesor a la producción de laboratorios virtuales. Estudio de su impacto en la

integración de las TIC», *Sci. Tech.*, vol. 19, n.º 3, pp. 341-347, 2014.

- [26] P. Atkinson, «Rescuing Autoethnography», *J. Contemp. Ethnogr.*, vol. 35, n.º 4, pp. 400-404, ago. 2006.
- [27] M. Blanco, «Autoetnografía: una forma narrativa de generación de conocimientos», *Andamios Rev. Investig. Soc.*, vol. 9, n.º 19, p. 49, ago. 2016.
- [28] C. Ellis, «Heartful Autoethnography», *Qual. Health Res.*, vol. 9, n.º 5, pp. 669-683, sep. 1999.
- [29] S. Unluer, «Being an Insider Researcher While Conducting Case Study Research», *Qual. Rep.*, vol. 17, n.º 29, pp. 1-14, jul. 2012.
- [30] L. Anderson, «Analytic Autoethnography», *J. Contemp. Ethnogr.*, vol. 35, n.º 4, pp. 373-395, ago. 2006.
- [31] P. Mayring, «Qualitative Content Analysis», *Forum Qual. Sozialforschung Forum Qual. Soc. Res.*, vol. 1, n.º 2, jun. 2000.
- [32] A. León Méndez, «Estrategias tecnológicas y pedagógicas en el diseño de laboratorios virtuales para la enseñanza», en *XII Congreso Internacional de Educación a Distancia*, La Habana, 2004.
- [33] W. Ribbens y S. Malliet, «Perceived Digital Game Realism: A Quantitative Exploration of its Structure», *Presence*, vol. 19, n.º 6, pp. 585-600, dic. 2010.