

Diseño de un escenario educativo para museos con el uso de TRIZ y ACT¹

Solanlly Ochoa Angrino², Jaime A. Aguilar Zambrano³,
Andrés A. Navarro Newball⁴, Andrés Jaramillo Ramírez⁵, Leonardo Henao Romero⁶
Pontificia Universidad Javeriana, Cali (Colombia)

Recibido: 17/04/2013

Aceptado: 17/08/2013

Resumen

Objetivo. Se realizó un trabajo interdisciplinario que utilizó la Teoría de solución de problemas inventivos (TRIZ) y el Análisis cognitivo de tareas (ACT) para orientar el diseño de un escenario de aprendizaje para un museo de ciencias naturales. **Método.** Participaron 23 personas: seis ingenieros de sistemas, un ingeniero industrial, un ingeniero eléctrico, dos psicólogas, un biólogo, una bioquímica, un físico, un técnico museológico, un historiador, un guía de museo, un diseñador gráfico y seis estudiantes de ingeniería. El proceso de análisis fue realizado en dos fases: en la primera, se analizó el componente técnico del problema utilizando TRIZ; en la segunda, se analizó el componente educativo utilizando el ACT. **Resultados.** La aplicación de TRIZ permitió identificar que el escenario de aprendizaje debía ser divertido, durable, de fácil uso e integración del uso de nuevas tecnologías con fines educativos, y que debía implicar poca asistencia de los guías del museo. El ACT permitió entender que la función principal del escenario de aprendizaje era promover la comprensión de conceptos involucrados en la relación entre personas, humedales y aves migratorias. Para ello, se diseñó la estructura de un videojuego educativo. **Conclusión.** El diseño de este videojuego prioriza los componentes educativos, que promueven la conservación ambiental, sin descuidar el componente de entretenimiento, equilibrio que parece difícil de lograr en diseños de aplicaciones de interacción humano - computador, en los cuales se privilegia la diversión, el uso de recursos tecnológicos sofisticados y el sentido estético.

Palabras clave. Museos interactivos, videojuegos, TRIZ, ACT, interdisciplinariedad, educación.

Design of a Learning Scenario for Museums Using TRIZ and ACT

Abstract

Objective. This interdisciplinary study used the Theory of inventive problem solving (TRIZ) and Cognitive task analysis (CTA) to address the problem of designing learning scenarios. **Method.** The study was conducted

¹ Este artículo deriva del proyecto de investigación "Modelo Interactivo para museos MOMU: Implementación y evaluación de escenarios educativos basados en las TIC", financiado por la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, realizado por los grupos de investigación Destino, Automática y Robótica, Desarrollo Cognitivo, Aprendizaje y Enseñanza, y Poiesis (Número de registro institucional -020100340).

² Doctora en Psicología Educativa, profesora del Departamento de Ciencias Sociales, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia. Correspondencia: sochoa@javerianacali.edu.co.

³ Doctor en Proyectos de Ingeniería e Innovación.

⁴ Doctor en Ciencias de la Computación.

⁵ Estudiante de Ingeniería Electrónica.

⁶ Estudiante de Ingeniería Electrónica.

in a natural science museum in Cali, Colombia to solve the educational problem of teaching visitors about migratory birds who arrive at Colombian wetlands. The design process was conducted in two phases. The first analyzed the technical component of the problem with TRIZ, and the second analyzed the educational component with CTA. The analysis involved 23 participants: six systems engineers, a mechanical engineer, an electrical engineer, two psychologists, two biologists, a physicist, a museum technician, a historian, a museum guide, a graphic designer, and six engineering students. **Results.** The TRIZ application makes it possible to conclude that the learning scenario should be easy to use, durable and fun. Also, the learning scenario should exhibit minimal assistance of museum guides and the use of new technologies directed toward the educational objective. The CTA makes it possible to understand that the main function of the learning scenario was to promote the visitors understanding of the concepts involved in the relationships among man, wetlands and migratory birds. **Conclusion.** The design of this game gives priority to the educational factors, promoting environmental conservation, without neglecting the entertainment component. A balance between them seems difficult to achieve in human-computer interaction application designs on which the focus is generally on fun, using sophisticated technological resources and aesthetic sense.

Key words. Interactive museums, video game, TRIZ, cognitive task analysis, interdisciplinary research, education.

Desenho de um cenário educativo para museus com o uso de TRIZ e ACT

Resumo

Escopo. Foi feito um trabalho interdisciplinar que utilizou a Teoria de solução de problemas inventivos (TRIZ) e o Análise cognitivo de tarefas (ACT) para orientar o desenho de um cenário de aprendizagem para um museu de ciências naturais. **Metodologia.** Participaram 23 pessoas: seis engenheiros de sistemas, um engenheiro industrial, um engenheiro elétrico, dois psicólogas, um biólogo, uma bioquímica, um físico, um técnico museológico, um historiador, um guia de museu, um desenhador gráfico e seis estudantes de engenharia. O processo de análise foi feito em duas fases. Na primeira, foi analisado o componente técnico do problema usando TRIZ, na segunda, foi analisado o componente educativo utilizando o ACT. **Resultados.** A aplicação de TRIZ permitiu identificar que o cenário de aprendizagem devia ser divertido, durável, de fácil uso e integração do uso de novas tecnologias com fins educativos, e que devia implicar pouca assistência dos guias do museu. O ACT possibilitou entender que a função principal do cenário de aprendizagem era promover a compreensão de conceitos involucrados na relação entre pessoas, pantanais e aves migratórias. Para isto, foi desenhada a estrutura de um videogame educativo. **Conclusão.** O desenho de este videogame prioriza os componentes educativos, que promovem a conservação ambiental, sem descuidar o componente de entretenimento, equilíbrio que parece difícil de lograr em desenhos de aplicações de interação humano-computador, nos quais privilegia-se a diversão, o uso de recursos tecnológicos sofisticados e o sentido estético.

Palavras chave. Museus interativos, videogames, TRIZ, ACT, interdisciplinaridade, educação.

Introducción

El rol de los museos como escenarios informales que favorecen el aprendizaje de las ciencias es ampliamente reconocido (Barriault y Pearson, 2010; Clegg, Gardner, Williams y Kolodner, 2006; National Research Council [NRC], 2009). Los museos pueden facilitar el aprendizaje de

las ciencias porque ofrecen a los usuarios la oportunidad de conectar conceptos científicos a objetos y situaciones concretas (Crowley y Galco, 2001; Wellington citado en Clegg et al., 2006), promueven la curiosidad, el interés, el entusiasmo, la motivación y las actitudes positivas hacia la ciencia (Barriault y Pearson, 2010; Csikszentmihalyi y Hermanson, 1995), y ofrecen a los visitantes la

oportunidad de escoger a dónde ir y sobre qué aprender (Falk citado en Barriault y Pearson, 2010). Sin embargo, el aprendizaje en los museos tiene ciertas limitaciones. La primera, es que aprender lleva tiempo y los museos rara vez promueven el aprendizaje sostenido de algún tema (Allen, 2004; Clegg et al., 2006). En segundo lugar, aunque los museos de ciencias tienen objetivos educativos, en el proceso de diseño de las exposiciones, en muchas ocasiones, no se realiza un análisis minucioso de las demandas cognitivas que esos objetivos educativos plantean ni tampoco se estudia la manera en que las características de esas exposiciones pueden articularse a esas demandas cognitivas. Estas dos limitaciones podrían ir en detrimento del aprendizaje de las ciencias (Hornecker, Rennie y Johnson citados en Barriault y Pearson, 2010).

En este sentido, los museos enfrentan retos a la hora de convertirse en auténticos escenarios de aprendizaje que vayan más allá de ofrecer entretenimiento y diversión a sus visitantes (Allen, 2004). Uno de los retos es garantizar que las exhibiciones, además de entretener, faciliten el aprendizaje de las ciencias. En este orden de ideas, se necesita apoyar a los museos de ciencias en el diseño de exhibiciones que faciliten el aprendizaje y, a la vez, mantengan el interés y curiosidad de los visitantes.

Un reto similar al anteriormente planteado fue reconocido por el Museo de Ciencias de Cali - Colombia. El equipo técnico del Museo, a través de un escenario educativo, buscaba promover en los usuarios la comprensión de la relación entre aves migratorias y humedales. En un intento por mejorar ese escenario educativo, el equipo técnico del Museo solicita a un grupo de académicos, expertos en diseño y educación, analizar en qué medida el escenario educativo facilitaba el cumplimiento del objetivo particular del Museo. Dos técnicas fueron aplicadas a la evaluación y rediseño del escenario educativo: la Teoría de solución de problemas inventivos (TRIZ, por sus siglas en ruso) y el Análisis cognitivo de tareas (ACT, por sus siglas en español). TRIZ es una técnica para generar ideas novedosas para la creación de productos que requieren de la identificación de una función principal del producto que se busca diseñar. Es necesario mencionar que el proceso de búsqueda de soluciones a problemas requiere de un proceso de generación de ideas, que puede mejorarse a partir de un trabajo interdisciplinar, puesto que así es posible ampliar

el campo de búsqueda de dichas soluciones (Pugh, 2001). A su vez, algunos autores afirman que el trabajo interdisciplinar está detrás de procesos de innovación (Rafols y Meyer, 2006) y que se requiere mayor número de trabajos empíricos para valorar su potencial (Peters, Van Trujill y Reymen, 2007). El proceso de ideación se soporta con técnicas para favorecer la producción de ideas, las cuales se pueden clasificar en técnicas convergentes y en técnicas divergentes. Las primeras, buscan enfocar la solución del problema con base en el conocimiento acumulado, como es el caso de la TRIZ; las segundas, acuden al conocimiento interno de las personas para explorar caminos de solución donde el insumo principal es el conocimiento que poseen las personas y sus experiencias de vida (Salamatov, 1991). Cuando el problema es de tipo educativo, como en el caso del diseño de escenarios educativos en un museo, se debe abordar el problema de aprendizaje - instrucción. Para ello, es necesario un análisis minucioso de las demandas cognitivas de los objetivos educativos de un museo para diseñar exhibiciones que faciliten al usuario el aprendizaje de las ciencias. Este análisis detallado puede lograrse a través de una herramienta de análisis y reflexión que se desarrolló dentro de la psicología cognitiva, el ACT (Chipman, Schraagen y Shalin, 2000; Clark, Feldom, van Merriënboer, Yates y Early, 2007; Kieras y Meyer, 2000). En este sentido, al proceso creativo con TRIZ se integró el ACT para trabajar en forma complementaria en el diseño de un escenario educativo que promoviera el aprendizaje de las ciencias.

Este artículo presenta una forma de aproximación al problema de generación de ideas y determinación de requerimientos para diseñar escenarios interactivos de aprendizaje en museos de ciencias naturales con un trabajo conjunto de TRIZ y ACT. El proceso inicia con un trabajo interdisciplinar con TRIZ para un análisis sistemático del problema y síntesis preliminar de la solución. Posteriormente, con el uso del ACT se realiza un proceso de evaluación de los resultados encontrados con TRIZ y se hace un nuevo análisis del problema enfocado en los aspectos cognitivos que implican la consecución de un objetivo educativo particular del museo. El objetivo educativo, según las directivas del Museo era que “el visitante estableciera la relación entre aves migratorias y humedales”. Como resultado del trabajo de análisis se presenta un conjunto de requerimientos para el

cumplimiento del objetivo educativo. El artículo está organizado de la siguiente manera: la primera parte describe el rol de los museos de ciencias como escenarios informales para aprendizaje; la segunda, presenta el TRIZ; y en la tercera, se describe el ACT. A continuación, se presentan los resultados de la experiencia interdisciplinar en torno a la relación entre aves migratorias y el humedal, para concluir con una discusión sobre los resultados encontrados.

Museos de ciencias: escenarios informales de aprendizaje

Cada vez es más creciente el número de investigadores que coinciden en afirmar que los museos pueden ser un escenario ideal para el aprendizaje de las ciencias (Barriault y Pearson, 2010; Clegg et al., 2006; NRC, 2009). Entre las múltiples razones que estos autores ofrecen se encuentran tres que han sido ampliamente estudiadas, y que hacen referencia a elementos cognitivos, afectivos y sociales. En relación con el aspecto cognitivo, se conoce que los museos permiten el aprendizaje de las ciencias cuando ofrecen situaciones interactivas en las que los usuarios pueden explorar, manipular, experimentar y, por tanto, relacionar hipótesis con evidencia (Allen, 2004; Clegg et al., 2006; Crowley y Galco, 2001). En cuanto al aspecto afectivo, se destaca que los museos promueven en los usuarios el interés y la motivación hacia temáticas científicas porque generalmente sus exposiciones son novedosas, estimulantes, multisensoriales, y porque los usuarios tienen la posibilidad de elegir sobre qué quieren aprender sin la presión externa de un instructor y de una posible evaluación sobre el contenido aprendido (Barriault y Pearson, 2010; Csikszentmihalyi y Hermanson, 1995). En el aspecto social, se subraya la idea de que los museos facilitan la construcción social del conocimiento pues favorecen el aprendizaje entre pares y entre los niños y sus padres (Allen y Gutwill, 2009; Ash, 2003; Blud, 1990; Crowley y Jacobs, 2002; Crowley et al., 2001; Deweitt y Hohentein, 2010; Dockett, Main, y Kelly, 2011). Ahora bien, para que los museos se conviertan en reales escenarios de aprendizaje deben cumplir con ciertas características como, por ejemplo, promover en los usuarios interés por los temas científicos que abordan las exhibiciones, ofrecer a los usuarios experiencias con situaciones interactivas que capturen la atención, la concentración y el disfrute del usuario, a la vez que

proporcionen la oportunidad de formar expectativas sobre los fenómenos científicos, evaluar evidencia y construir explicaciones (Allen, 2004; Clegg et al., 2006). En síntesis, las exhibiciones de los museos deben garantizar que los usuarios coordinen teoría con evidencia (Allen, 2004; Crowley y Callanan, 1998).

Algunas tareas básicas para lograr que las exhibiciones de los museos cuenten con estas características incluye el análisis minucioso de los conceptos científicos sobre los que se quiere favorecer el aprendizaje, analizar las demandas cognitivas que ese aprendizaje implica y diseñar situaciones que tengan en cuenta esos factores. Desafortunadamente, aunque los museos tienen objetivos educativos, en muchas ocasiones no se realiza un análisis minucioso de las demandas cognitivas que plantean esos objetivos ni tampoco estudian cómo las características de las exposiciones pueden articularse a esas demandas cognitivas (Hornecker; Rennie y Johnson, citados en Barriault y Pearson, 2010). Por ello, se sugiere que las técnicas que favorecen el análisis y la creatividad, como el TRIZ y el ACT, se utilicen para estudiar los objetivos educativos de los museos y, posteriormente, sirvan para diseñar exhibiciones que faciliten el aprendizaje de conceptos científicos.

En este orden de ideas, el presente estudio describe la aplicación de TRIZ y del ACT en el diseño de escenarios educativos no formales. A solicitud del equipo técnico del Museo de Ciencias se decide revisar en qué medida un escenario educativo del Museo permitiría a los visitantes entender la relación entre aves migratorias y humedales. El escenario educativo consiste en un diorama que representa el Humedal de Sonso, en el Valle del Cauca, y un mapa que muestra la ruta que siguen las aves migratorias desde Norteamérica para llegar a dicho humedal. Para la revisión y posible rediseño se parte de un análisis sistemático del escenario de aprendizaje y de las demandas cognitivas del objetivo educativo que el Museo busca lograr. A continuación, se describe cada una de las técnicas y su posterior aplicación al análisis del escenario educativo y a la planeación del rediseño educativo.

La teoría de solución de problemas inventivos (TRIZ)

TRIZ hace referencia a un conjunto de técnicas que fueron inicialmente propuestas por Genrich

Altshuller, a mediados del siglo XX, y que se basan en la hipótesis de que existe un conjunto de principios básicos para el desarrollo de las invenciones, los cuales son la base para el avance inventivo de las tecnologías (Salamatov, 1999). Al ser estos principios identificados y codificados, los procesos de invención son más predecibles, siendo el papel del diseñador el de identificar estos procesos para generar nuevos productos o servicios que estén dentro del proceso de evolución de los sistemas técnicos. Los conceptos claves de la teoría TRIZ son la idealidad, las contradicciones, el análisis campo-sustancia, las leyes de evolución de los sistemas y la base de conocimiento de los efectos y principios inventivos. Con lo que respecta al presente trabajo, el uso de TRIZ se amplía, al aplicarlo al diseño de escenarios educativos en museos de ciencias, para lo cual no se ha empleado anteriormente. A continuación, se explican brevemente dos técnicas relacionadas con el TRIZ, la técnica de las nueve ventanas y la matriz de contradicciones.

La técnica de las nueve ventanas

Las nueve ventanas es una técnica de TRIZ que sirve para visualizar un sistema que desempeña una función principal sobre un objeto, como parte de una estructura jerárquica que se desempeña en el tiempo. Esta forma de análisis sirve para comprender un problema en una forma desagregada e identificar aspectos asociados al problema que no son evidentes desde un análisis puramente funcional.

La figura 1, muestra el diagrama de las nueve ventanas. En el eje horizontal se representa el tiempo, la parte central el tiempo actual, el pasado a la izquierda y el futuro a la derecha. El eje vertical representa la jerarquía del problema, el centro es el sistema técnico que desempeña alguna función, el nivel inferior es su composición o soporte del sistema para que lleve a cabo su función (el subsistema) y el nivel superior es el contexto donde se encuentra inmerso el sistema (supersistema).

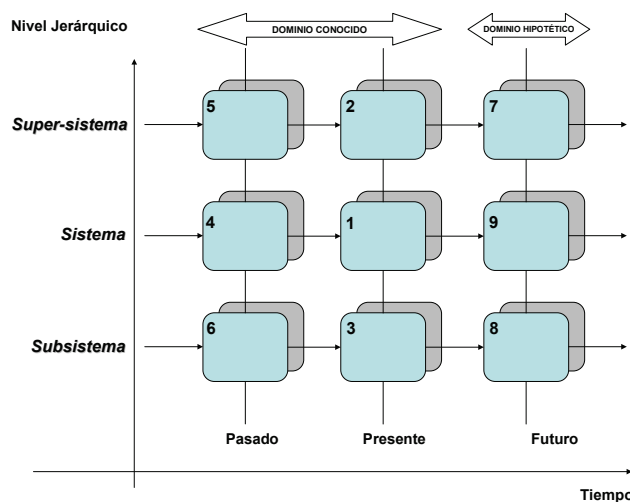


Figura 1. Ejemplo diagrama de las nueve ventanas del TRIZ.

La matriz de contradicciones

La técnica de las nueve ventanas permite el análisis sistémico del problema que, a su vez, es un insumo para el uso de la técnica de la matriz de contradicciones. Una contradicción se define en TRIZ como una situación en la cual un determinado parámetro, que describe una cualidad de un sistema, se ve afectado negativamente cuando se busca mejorar otro y a la vez el comportamiento de

un sistema. Por ejemplo, en un sistema mecánico cuando se busca mejorar la velocidad de una operación puede ser que la precisión del sistema se afecte. En este caso, hay dos parámetros en conflicto: la velocidad y la precisión. La mejora de la velocidad incide en forma negativa con la precisión. La matriz de contradicciones es una técnica para resolver este tipo de conflictos llevando el sistema a evolucionar desde su estado actual. Altshuller (2000) sugirió una matriz de cruce de parámetros en conflicto

que contiene un conjunto de principios inventivos para superarlos. En el análisis de un problema, con el uso de la técnica de las nueve ventanas, el logro de un estado ideal futuro dependerá de la superación de un conflicto o una contradicción que se presente en los parámetros definidos como parte

del sistema presente que impide en la situación actual alcanzar ese estado ideal. De esta forma, con las contradicciones identificadas en la matriz se buscan los principios inventivos sugeridos para superar dicha contradicción. La figura 2, muestra un ejemplo del uso de la matriz de contradicciones.

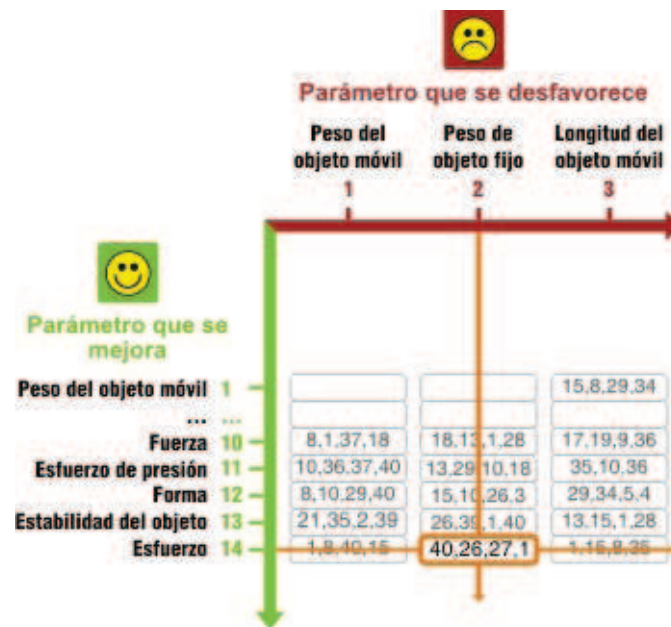


Figura 2. Ejemplo matriz de contradicciones de la TRIZ.

En este caso, para el análisis de un sistema particular, cuando el parámetro esfuerzo se desea mejorar, el peso del objeto físico se empeora. La celda que resulta de la intersección de los parámetros en conflicto contiene el número de los principios que pueden utilizarse para superar dicha contradicción (40, 26, 27,1). El principio 40, para este caso, es aquel que históricamente posee las mejores características para superar el conflicto y corresponde al uso de materiales compuestos. Los principios inventivos son las bases para que el diseñador genere ideas de solución para su problema particular de diseño.

Análisis cognitivo de tareas (ACT)

El ACT parte del supuesto de que toda tarea presenta demandas cognitivas que subyacen a las acciones

encaminadas al cumplimiento de la meta de la tarea, la toma de decisiones y los juicios que una persona debe hacer para realizarla. Así, el ACT permite identificar las demandas cognitivas necesarias para desempeñar adecuadamente cualquier tarea (Clark et al., 2007; Kieras y Meyer, 2000; Militello y Hutton, 1998; Schraagen, Chipman y Shalin, 2000). Esas demandas cognitivas son generalmente expresadas en procesos de razonamiento complejo como, por ejemplo, establecer inferencias, planificar, establecer relaciones causa - efecto y/o clasificar.

Específicamente, el ACT permite obtener información de cualquier tarea en términos de: (a) la descripción del objetivo de la tarea: ¿en qué consiste la tarea?; (b) definición de los elementos estructurales de la tarea: ¿cuáles son los componentes característicos de esa tarea?, ¿cómo se relacionan entre sí esos componentes?; y (c)

definición de las demandas que la práctica hace a un experto: ¿qué pasos debe dar cualquier persona para resolver correctamente la tarea?, ¿cuáles son las habilidades mentales que la persona debe poner en juego para realizar una tarea específica adecuadamente? (Orozco-Hormaza, 2000; Orozco, Ochoa y Sánchez, 2000). El análisis de estos aspectos permite examinar el desempeño de un sujeto particular frente a una tarea específica y comparar ese desempeño con el que tendría un experto. Esta información es útil para procesos de formación, entrenamiento, y/o procesos de diseño de tareas.

El ACT exige llevar a cabo varios pasos para obtener información sobre los aspectos estructurales de las tareas. Algunos de los pasos más importantes son: (a) análisis documental, (b) entrevista a expertos, (c) observación de cómo expertos resuelven tarea específicas, y (d) registro de protocolos verbales de pensamiento en voz alta sobre los procesos de resolución, qué hace y cómo lo hace, cuando un sujeto particular está resolviendo la tarea (Clark et al. 2007; Jonassen, Tessmer y Hannum, 1999; Militello y Hutton, 1998; Orozco-Hormaza, 2000; Orozco, Ochoa, y Sánchez, 2000; Wei y Salvendy, 2004). Fruto de este análisis surge información acerca de lo que es absolutamente necesario para realizar con éxito una tarea (Kieras y Meyer, 2000, p. 255).

El ACT se ha aplicado exitosamente a diferentes áreas como ingeniería (Hoffman, Neville, y Fowlkes, 2009; Militello y Hutton, 1988; Schraagen et al., 2000; Seamster, Redding, Cannon, Ryder, y Purcell, 1993; Wei y Salvendy, 2004), medicina (Maupin, Velmahos et al. citados en Clark et al., 2007) y educación formal e informal (Orozco-Hormaza, 2000; Orozco, Ochoa, y Sánchez, 2000). En este trabajo, el ACT se utiliza para analizar y rediseñar escenarios educativos en museos de ciencias. Este tipo de trabajos es novedoso en Colombia y por tanto se constituye en un aporte a la literatura sobre el uso del análisis de tareas en la construcción de escenarios educativos informales en museos de ciencias.

A continuación, se ofrece una descripción de la aplicación de TRIZ y luego la del ACT al mencionado análisis de escenarios educativos en un museo de ciencias; cada aplicación se acompaña con sus respectivos resultados; posteriormente, se realiza un análisis de conjunto de los hallazgos y una discusión de los mismos que recupera tanto elementos del uso de TRIZ como de ACT.

Método fase 1

Aplicación de TRIZ en el diseño conceptual de un escenario de aprendizaje

Participantes.

Tomando en cuenta las recomendaciones de Pugh (2001) y Rafols y Meyer (2006) sobre la necesidad de formar equipos interdisciplinarios para la búsqueda de soluciones innovadoras a problemas particulares, se hizo una convocatoria entre profesionales de las áreas de ingeniería, diseño de la comunicación visual, psicología, historia y trabajadores del Museo de Ciencias de Cali (Valle, Colombia). En el taller de generación de ideas participaron 19 personas organizadas en cuatro grupos interdisciplinarios. El primer equipo lo conformaron dos ingenieros de sistemas, una estudiante de administración turística y una bachiller guía del Museo. El segundo por un biólogo zoólogo, un ingeniero de sistemas, una psicóloga y un estudiante de diseño de la comunicación visual. El tercero por una bióloga botánica, un diseñador gráfico, un historiador, una ingeniera industrial y un ingeniero de sistemas. El cuarto por un físico, dos ingenieros de sistemas y un técnico en museología. Cada equipo de trabajo contó con la participación de un profesional del Museo de Ciencias que, a su vez, se privilegió de la participación de jóvenes y expertos disciplinares. El profesional del Museo de Ciencias permitía contextualizar el problema educativo así como las características del usuario del Museo. Por su parte, la presencia de los jóvenes permitía tener mayor flexibilidad en las propuestas y el uso de nuevas tecnologías, mientras los expertos tenían mayor conocimiento acerca de las técnicas de diseño.

Todos los participantes conocieron de antemano el objetivo y procedimiento del estudio. Los participantes no obtenían beneficios económicos por su participación en el proceso, sin embargo, de su participación podían derivar conocimientos sobre TRIZ, el cual puede ser aplicado para la resolución de problemas de diseño e innovación.

Los participantes al taller TRIZ fueron personas invitadas de las dos instituciones involucradas en el proyecto: la Pontificia Universidad Javeriana seccional Cali y el Museo de Ciencias Naturales del Valle.

Procedimiento y técnicas de recolección de información.

Una vez conformados los equipos de trabajo se realizaron cinco sesiones de cuatro horas, con cada grupo, en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, para trabajar en la enunciación del problema y su solución, empleando TRIZ. El trabajo con los participantes inició con la definición del problema a partir del siguiente enunciado propuesto por el equipo técnico del Museo de Ciencias: "El museo de Ciencias Naturales del Valle del Cauca desea que los jóvenes y los niños que visitan el museo conozcan y aprendan sobre las aves migratorias que pasan por el Valle del Cauca. Las aves que se tiene interés en divulgar son: Vencejo de chimenea, Sirirí migratorio, Zorzal de Swainson, Reinita amarilla, Águila de Swainson, Halcón peregrino, Piranga roja, Cuclillo migratorio, Tordo arrocero, Águila pescadora, Pato careto y Gaviota reidora. En las visitas guiadas llegan grupos de más de 20 estudiantes que recorren todo el museo".

Para el análisis de nueve ventanas del problema, se presentó a todo el grupo el sistema actual existente en el museo para favorecer el aprendizaje de aves migratorias, el cual consiste de un mapa y un diorama. Este sistema posee una pantalla donde se encuentra un mapa de América con un conjunto de caminos que indican el recorrido de cada ave migratoria. El usuario pulsa un botón para iluminar el recorrido del ave asociada a dicho botón. Por su parte, el diorama representa un humedal y recrea algunas de las aves que visitan el humedal.

Para este trabajo, cada uno de los grupos realizó el análisis sistémico del problema, iniciando en el presente, describiendo el pasado y, finalmente, planteando un escenario hipotético del futuro. El análisis fue sintetizado en unos textos asociados para cada una de las ventanas del proceso de análisis. Posterior a este trabajo, cada grupo realizó el análisis del sistema ideal futuro frente al sistema real actual, permitiendo encontrar un conjunto de contradicciones que impiden alcanzar la idealidad con el sistema actual que ofrece el museo.

Análisis de los datos.

El análisis de los datos en este tipo de experiencias de ideación consistió en evaluar la novedad, la calidad y la variedad de las ideas en los equipos de trabajo a partir de los bocetos entregados

(González, Aguilar-Zambrano, Aguilar-Zambrano, y Gardoni, 2008). La novedad determinó qué tan fuera de lo común se encuentra una idea; la calidad determinó si la idea cumple efectivamente con la solución del problema planteado y la variedad definió qué tan amplio es el espacio de búsqueda de las soluciones (Chulv, González, Mulet y Aguilar-Zambrano, 2013). Para este estudio en particular, se buscó obtener un banco de atributos a partir de las ideas generadas, con el uso de TRIZ, con la participación de personas asociadas directamente al problema y otras que podrían contribuir, desde miradas disciplinares diferentes, a la construcción de un nuevo escenario de educación informal en ciencias naturales para un museo. Este objetivo se basó en una de las características de TRIZ, la cual afirma que las mejores soluciones generalmente surgen de campos diferentes a la disciplina del problema (Salamatov, 1999). De esta forma, a partir de la información entregada por los participantes en el análisis de nueve ventanas y bocetos provenientes de la aplicación de los principios de la matriz de contradicciones, se describieron las soluciones propuestas y se determinaron los atributos esenciales de dichas propuestas. Puesto que TRIZ tiene una orientación evolutiva para la solución de los problemas lo que importaba en esta primera fase era identificar los atributos futuros que debería tener un nuevo escenario de aprendizaje informal a partir de la contribución del proceso de ideación de los grupos participantes.

Para el análisis de los datos se tomaron como insumos los bocetos, representaciones gráficas de las ideas y el análisis de los textos de la técnica de las nueve ventanas. A partir de estos elementos se determinaron las características de un escenario ideal para el aprendizaje sobre las aves migratorias y la conservación del humedal como elemento esencial para este proceso.

Resultados fase 1

Propuestas de solución de la experiencia con el uso de TRIZ

Partiendo del problema a solucionar, que los visitantes del Museo conozcan y aprendan de ciertas clases de aves migratorias, la solución ofrecida por los cuatro grupos de participantes concluyó con las siguientes características atribuidas a un sistema ideal, el cual debe: (a) promover la interacción del

visitante con elementos de la sala como el diorama que representa los humedales a los cuales llegan las aves migratorias (uso de recursos existentes enriquecidos con tecnología); (b) requerir de una mínima interacción del guía (uso de historias de viajes con contenido o juegos educativos); (c) ser de fácil uso (uso de tecnología como kinect); (d) durable (nuevos materiales como el grafeno); (e) recreativo (invitación al juego y participar en aventuras); y (f) educativo (guiones y estrategias asociadas con el problema científico).

Los atributos encontrados surgen del análisis de las propuestas generadas por los grupos con base en el uso de los principios inventivos a partir de las contradicciones encontradas.

El primer grupo planteó una solución con el uso de los recursos del Museo. En su propuesta, el diorama debe tener luces que se encienden cuando se requiera información de un animal o planta específica. De igual forma, ellos sugirieron dar uso a la columna que está dentro de la sala para emplearla como excusa de tronco de árbol y poder realizar una réplica de un árbol gigante donde reposen diferentes aves, las cuales también deberán tener iluminación individual. Lo anterior, debe complementarse con un ambiente que recree situaciones similares del humedal con el uso de tecnología. Dentro de la tecnología ellos incluyeron sistemas de televisores de gran formato y equipos con tecnología kinect para soportar la interactividad entre la exposición y el usuario.

El segundo grupo expuso una plataforma con un mapa de América, con relieves y zonas marcadas que indican los humedales en el Valle del Cauca,

como se muestra en la figura 3. Esta plataforma debe poseer una inclinación y unos canales que representen las rutas de las aves migratorias. Por estos canales, cada usuario tiene la posibilidad de hacer circular unas bolas que representan las aves migratorias y el recorrido de la bola, el viaje del ave. Al final del recorrido de la bola debe existir un sensor que active una animación en un televisor. Esta animación consiste en el enriquecimiento de un ecosistema, donde a mayor número de bolas lanzadas por los canales mayor riqueza del hábitat. Para la animación, se sugiere iniciar con un ecosistema deteriorado que poco a poco se va reconstruyendo.

Por su parte, el tercer grupo perfiló una solución que involucra toda la exhibición del Museo, de manera que este se recorre a través de una historia o un diario dentro de un conjunto de alternativas, con el propósito de introducir al visitante en una historia imaginaria dentro de cada exposición. El sistema tendrá elementos de realidad virtual o usará vehículos hechos con cartón, en los cuales se puedan transportar los viajeros asociados con la historia. El vehículo puede cambiar de acuerdo al ambiente que esté visitando, si es en los comienzos del universo seguramente se subirá en un cohete o nave espacial; si es en un humedal lo podrá recorrer en un barco o viajará sobre una ave virtual.

Entre tanto, el cuarto grupo especificó una solución con uso de tecnología, como representación de la información visual del Museo, utilizando material grafeno. Este material permite construir pantallas de visualización flexibles y resistentes a los impactos.

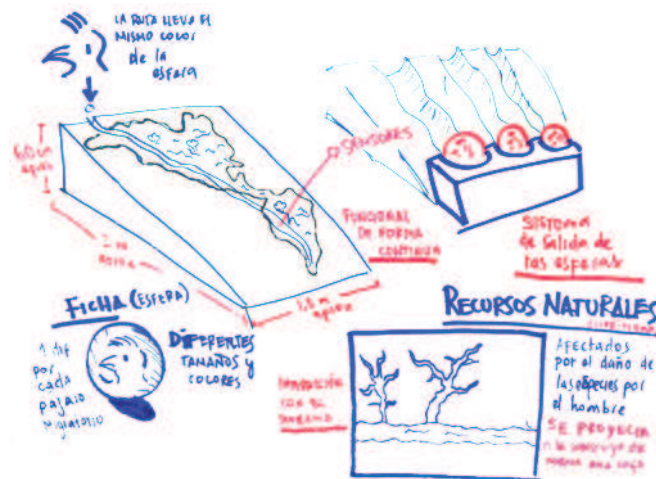


Figura 3. Ejemplo de la solución propuesta por el grupo 2.

Análisis fase 1

La primera parte de este estudio, la cual consistió en el uso de TRIZ para evaluar la situación educativa actual y deseada del Museo, permitió evidenciar los aspectos técnicos que no facilitaban el aprendizaje de los visitantes, como su iluminación y actual articulación entre el mapa y el diorama que representa el humedal; también, vislumbrar algunas características que debería tener la exhibición para promover mayor interacción entre el usuario y las exhibiciones.

Ahora bien, una de las principales limitaciones del análisis TRIZ es que los componentes estructurales, en términos de razonamiento y acciones concretas que deberían realizar los usuarios para apropiarse de la relación entre aves migratorias y humedales, permanecía sin explorar. Por esta razón, la fase dos de este estudio se dedicó a aplicar la estrategia ACT para analizar las demandas de razonamiento que debería privilegiar el Museo para facilitar, a través de la interacción entre el usuario y la exhibición, la comprensión de la relación entre aves migratorias y humedales, esperando que así se facilite el cumplimiento de los objetivos educativos que se plantean los museos con esta clase de exhibiciones.

Método fase 2

Aplicación del ACT al diseño conceptual de un escenario de aprendizaje

Participantes.

Esta segunda fase se realizó de manera intencional con seis de los participantes de la fase 1: un ingeniero electricista, doctor en proyectos de ingeniería e innovación; una doctora en psicología educativa; un biólogo; una licenciada en bioquímica, y dos estudiantes de ingeniería electrónica. La selección se hizo de forma no aleatoria, buscando conformar un grupo de expertos en el tema, por ello, todas estas personas eran expertas en sus dominios correspondientes: el ingeniero electricista es experto en TRIZ, la psicóloga educativa en ACT, el biólogo es especialista en aves y se desempeña profesionalmente en el Museo de Ciencias, la licenciada en bioquímica es profesora de secundaria en una escuela pública del Valle del Cauca, y los estudiantes, aprendices que estaban desarrollando habilidades en estas dos técnicas.

Procedimiento y técnicas de recolección de información.

Los participantes, en esta segunda fase, se subdividieron en dos grupos: el primero, conformado por el ingeniero, la psicóloga y los estudiantes de ingeniería, trabajaron en sesiones de dos horas semanales durante tres meses. Su trabajo consistió en conformar un grupo de discusión, para explicitar sus diferentes niveles de comprensión sobre la tarea (el objetivo educativo del Museo: que los visitantes comprendieran la relación entre aves migratorias y humedales), para alcanzar, como grupo, un nivel más complejo de comprensión e incluir todos los posibles componentes de la relación entre aves migratorias y humedales. Por su lado, el segundo grupo, conformado por el biólogo y la licenciada en bioquímica, se concentró en revisar y discutir los avances conceptuales del primer grupo.

El método empleado por los dos, para realizar su respectivo análisis de la tarea propuesta, consistió en la aplicación de las fases del ACT sugeridas por Orozco, Ochoa y Sánchez (2000), las cuales fueron: (a) análisis objetivo, que consiste en describir los componentes básicos de la tarea, la organización y estructura de la tarea; (b) análisis subjetivo, el cual describe la definición de la solución ideal en términos de competencias cognitivas y habilidades que la apropiación de la tarea implica.⁷

Durante cada sesión realizada por el primer subgrupo de la fase 2, se recogieron actas de las reuniones que sintetizaban las discusiones, convergencias y divergencias fruto de los protocolos verbales realizados por cada participante (registro del pensamiento verbal, al momento de analizar y resolver la tarea). También, se efectuaron revisiones de literatura en torno a la relación entre humedales y aves migratorias. Este proceso fue iterativo en el sentido de recuperar los temas de los protocolos verbales, revisar la literatura y discutir con expertos hasta lograr establecer claras relaciones entre los humanos, los humedales y las aves migratorias.

⁷ El análisis del desempeño de las personas cuando realizan la práctica no se incluye en este texto porque el énfasis está puesto en las características del diseño del escenario educativo. Sin embargo, con base en este trabajo se desarrolla actualmente un videojuego y se tiene previsto evaluar los desempeños de los usuarios cuando interactúan con él (Navarro-Newball, Ochoa-Angrino, Aguilar-Zambrano y Bermúdez-Aguirre, 2013).

El registro de protocolos verbales de pensamiento en voz alta sobre los procesos de resolución de la tarea (Clarke, 1987; Ericsson y Simon, 1984; Sanderson, James y Seidler, 1989; Wei y Salvendy, 2004) consistió en el reporte escrito y discusión en grupo de las respuestas de los participantes a las preguntas: (a) ¿qué significa entender la relación entre aves migratorias y humedales?, (b) ¿qué tiene que comprender el usuario del Museo para establecer la relación entre aves migratorias y humedales?, (c) ¿cuáles son los conceptos implicados en la relación aves migratorias–humedales? y, (d) ¿cuáles son las competencias cognitivas que permiten la comprensión de esos conceptos y de esas relaciones?

Como se puede observar, las preguntas recogen los elementos esenciales de las diferentes fases del análisis de tareas. Los reportes verbales de los integrantes del grupo fueron registrados y luego discutidos para hacer inferencias acerca de los procesos de conocimiento que subyacían a la comprensión de la relación entre aves migratorias y humedales. En los reportes verbales cada uno de los participantes hacía comentarios sobre lo que ellos creían que implicaba comprender esas relaciones. Una de las ventajas que se reconoce en esta técnica es la facilidad con que es llevada a cabo mientras una de sus dificultades estriba en la gran cantidad de información que puede generarse (Wei y Salvendy, 2004).

Adicionalmente, se empleó el análisis documental de textos (Hoffman et al., 2009) como artículos, capítulos de libro y reportes gubernamentales sobre humedales, ecosistemas y aves migratorias (Benavides y Chávez, 2005; Bernal y Donado, 2010; Castellano, 2006; Pedroza-Banda y Angarita, 2011). Estos documentos funcionaron como la voz del experto, permitiendo responder a muchas de las preguntas que surgieron durante las discusiones verbales del grupo, así como facilitaron la verificación de los supuestos conceptuales del grupo. Por su parte, la revisión de expertos en el dominio de la biología y ciencias afines se centró en ofrecer información detallada de temas destacados en los protocolos verbales y/o análisis documental, así como en comentar los contenidos de los tipos de registros anteriormente mencionados.

La aplicación de ACT no tuvo riesgos físicos ni emocionales para los participantes puesto que la dinámica de los protocolos verbales, el análisis de documentos y la revisión de expertos no

indagó sobre aspectos personales/íntimos de los participantes que podrían suscitar problemáticas de tipo ético. Igualmente, los participantes entendían que los procedimientos y objetivos del estudio no representaban riesgos para su salud. Uno de los beneficios que obtenían los participantes en el estudio consistía en conocer cómo aplicar el ACT al estudio y diseño de escenarios educativos.

Análisis de los datos.

El análisis de datos se basó en la información recogida a través de los protocolos verbales guiados por la resolución de la tarea y por las preguntas guías del análisis objetivo y subjetivo. Aproximadamente, 48 reportes escritos de las discusiones acerca de la estructura de la tarea y de las demandas cognitivas de la misma fueron revisados por todos los miembros del primer subgrupo para filtrar la información esencial y la de apoyo a la tarea.

Dada la gran cantidad de información que se reportaba en los protocolos verbales, mensualmente, el equipo realizaba un análisis de contenido de los escritos individuales de cada uno de los participantes, representados en aproximadamente 12 escritos por vez (los escritos eran el resultado de una reunión de cuatro personas, una vez a la semana, durante cuatro semanas, a lo largo de tres meses). También, se revisaban las actas de reunión donde se consignaban los resultados más importantes de las discusiones y las categorías que fueron emergiendo de las mismas. Para realizar la codificación, el primer subgrupo leía y releía las apreciaciones de todos los participantes en relación con las preguntas guía, buscando temáticas relacionadas específicamente con las aves (tipos, alimentación, abrigo, procreación, razones de migración); con el humedal (como ecosistema, características de un humedal deteriorado, características de un humedal conservado, oportunidades que brinda el humedal a las aves) y a los humanos (relación de los humanos con los humedales y con las aves)⁸.

Una vez definidas las tres grandes categorías, estas empezaron a enriquecerse, enfatizando en los elementos implicados en cada una de ellas. Este trabajo fue apoyado por el grupo de expertos que revisa la pertinencia de las mismas de acuerdo

⁸ El análisis de tarea inició con dos grandes categorías: aves y humedales, sin embargo, el resultado del mismo arrojó que una categoría importante estaba relacionada con los humanos, sobre cómo éstos interactuaban con el humedal, produciendo efectos positivos o negativos que luego influían en las aves.

con lo que ocurre realmente en los humedales. Por ejemplo, el análisis muestra que no es pertinente hablar de aves migratorias en general, sino de los tipos de aves que migran al humedal Laguna de Sonso y de los beneficios que esas aves encuentran en el humedal (abrigo, alimento, etc.), de acuerdo con sus diferentes tipos. Una vez se tienen definidas las tres grandes categorías, los protocolos verbales pasaron a centrarse en las preguntas guías que ofrece el ACT (análisis objetivo y subjetivo) y se enfocaron en describir, con mayor detalle, los componentes de cada categoría a partir de la revisión de la literatura sobre el tema y del juicio de los expertos. La redefinición y afinamiento de las categorías llevó finalmente a abandonar las categorías como entes aislados y a refinar las relaciones dinámicas entre ellas: aves (¿por qué emigran a los humedales?); humedales (¿qué brindan a las aves?, ¿qué características deben tener para ofrecer lo que las aves buscan?); humanos (¿qué acciones favorecen o deterioran el humedal y, por tanto, la migración de las aves?)

Este proceso iterativo, de pensar en voz alta, tomar nota de los aspectos centrales, compartirlos con el equipo, releerlos, definir los conceptos centrales, compartirlos con el equipo experto y corroborarlos con la literatura permitió alcanzar los resultados que a continuación se presentan.

Resultados fase 2

Análisis objetivo: descripción de la tarea

De acuerdo con el Comité Técnico del Museo de Ciencias, el objetivo del Museo es que, a partir de la visita a una exhibición compuesta por un mapa que marca la ruta de las aves migratorias y la representación de un humedal, los visitantes comprendan la relación que existe entre aves migratorias y humedales. En este sentido, más allá de las características actuales del escenario educativo del Museo, el equipo de expertos se preguntó qué implica la tarea cognitiva de comprender la relación entre aves migratorias y humedales.

A partir del uso del ACT, los subgrupos de la fase 2 concluyeron que, para entender la relación entre aves migratorias y humedales, los usuarios deberían entender cuatro elementos esenciales:

1. El proceso de migración, especialmente, lo primero que los visitantes del Museo deben entender es qué es migrar y por qué migran las aves. En el caso de las aves migratorias, ellas se desplazan de un lugar a otro en búsqueda de mejores condiciones de vida (regiones con climas y condiciones de abrigo y alimento favorables a su existencia). En los humedales, las aves migratorias satisfacen su necesidad de abrigo, alimentación y reproducción, no obstante, para su satisfacción, el humedal debe contar con condiciones adecuadas de flora y fauna (terrestre, aérea y acuática) que permitan a las aves anidar, descansar y alimentarse.
2. Los tipos de aves migratorias que existen en los humedales del Valle del Cauca. El humedal analizado, la Laguna de Sonso, arriban doce tipos de aves migratorias: *Coccyzus Americanus* (Cuclillo Migratorio), *Falco Peregrinus* (Halcón Peregrino), *Catharus Ustulatus* (Zorzal de Swainson), *Pandion Haliaethus* (Águila Pescadora), *Buteo Swainsoni* (Águila de Swainson), *Tyrannus Tyrannus* (Sirirí Migratorio), *Larus Atricilla* (Gaviota Reidora), *Dendroica Petechia* (Reynita Amarilla), *Anas Discors* (Pato Careto), *Piranga Rubra* (Piranga Roja), *Chaetura Pelagica* (Vencejo de Chimenea), y *Dolichonix Oryzivorus* (Tordo Arrocerero).
3. Las condiciones del humedal que afectan el bienestar de las aves, pues cuando los humedales no proveen suficientes oportunidades de alimento y abrigo para satisfacer las necesidades de las aves migratorias estas no vuelven o sencillamente perecen en el humedal al que llegan porque no alcanzan a abastecerse y recuperarse para seguir su camino.
4. La relación entre hombre, humedal y aves: el hombre como agente activo, implicado con el ecosistema, puede favorecer o entorpecer la relación armónica entre las aves y el humedal. Para ello, los visitantes deben establecer un sistema de relaciones entre humanos, aves migratorias y humedales; en este sistema, el hombre afecta a los humedales y los humedales afectan las aves migratorias; a su vez, la presencia de las aves migratorias puede ser un indicador del buen estado de los humedales, por tanto, del medio ambiente el cual afecta el bienestar físico y emocional del hombre. La tabla 1, presenta un ejemplo del análisis de la relación entre el hombre, los humedales y las aves migratorias.

Tabla 1
Relaciones entre acciones del hombre y su efecto en humedales y aves

Acciones humanas	Consecuencias en los humedales	Consecuencias en las aves
Talar árboles	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión del suelo • Reducción de vida silvestre • Reducción de alimento • Reducción de refugio • Desbordamiento del humedal 	<ul style="list-style-type: none"> • Aves en general (anseriformes, cuculiformes y passeriformes) porque disminuyen los árboles y los insectos con los cuales alimentan a sus crías y a sí mismas.
Desviar agua del humedal para monocultivos	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución del nivel efectivo del humedal • Reducción de nutrientes disueltos en el agua • Reducción de la densidad de población de vida acuática • Erosión en las orillas del humedal 	<ul style="list-style-type: none"> • Al Pato Careto le afecta el agua donde nada y descansa de sus vuelos. También afecta negativamente a todas las aves en general (anseriformes, cuculiformes y passeriformes) porque disminuyen los árboles y los insectos con los cuales alimentan a sus crías y a sí mismas.
Verter desechos industriales al río	<ul style="list-style-type: none"> • Muerte indiscriminada de peces • Combinación de sustancias aceitosas con el agua • Alteración del pH. del agua • Muerte de animales que se hidratan del agua de la laguna 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de materia prima para nidos • Reducción de todo tipo de alimentos • Aves afectadas: Halcón Peregrino, Águila Pescadora, Águila de Swanson, Pato Careto
Tirar escombros cerca del humedal	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión del suelo • Muerte de la vida vegetal • Obstrucción de las vías de agua que alimentan el humedal 	<ul style="list-style-type: none"> • Aves en general (anseriformes, cuculiformes y passeriformes) porque disminuyen los árboles y los insectos con los cuales alimentan a sus crías y a sí mismos.

Análisis subjetivo de la solución ideal: competencias cognitivas implicadas en la comprensión de la tarea

Cuando se buscaron comprender las relaciones entre las aves migratorias y los humedales, el ACT aplicado por el grupo de expertos destacó que los usuarios del Museo necesitan: (a) establecer relaciones causa-efecto entre múltiples factores (hombre, humedal, aves). Por ejemplo, es necesario reconocer que algunas acciones del hombre, como contaminar las aguas del humedal, afectan la vida acuática del mismo y, por tanto, restringen

las posibilidades de alimento para las aves; (b) establecer semejanzas y diferencias entre las aves migratorias, por ejemplo, reconocer los tipos de aves que llegan al humedal y los tipos de alimentos que buscarían en el humedal; (c) establecer secuencias, por ejemplo, la del ave migratoria al humedal, búsqueda de alimentos y abrigo, y la partida; y (d) observar y verificar supuestos, por ejemplo, anticipar que las malas condiciones ambientales del humedal pueden restringir la posibilidad de alimentar y abrigar a las aves y por lo tanto estas podrían no volver.

Análisis fase 2. Asociación de TRIZ y el ACT en el diseño de un escenario educativo que promueva la comprensión de la relación entre humedales y aves migratorias

El sentido educativo de la aplicación del TRIZ y ACT, al análisis de la relación entre aves migratorias y humedales, es promover en los visitantes del Museo la comprensión de los humedales como hábitat crítico para las aves migratorias. En este proyecto, el uso de ambos métodos de análisis resultó en la propuesta de diseño de un videojuego educativo, que debe contar con las siguientes características:

1. El escenario debe representar diferentes problemas asociados con la relación entre humedales, aves migratorias y humanos, tales como: (a) verter desechos industriales, (b) desviar agua para riego de monocultivos, (c) talar árboles, y (d) arrojar escombros cerca del humedal.
2. El escenario debe representar las consecuencias de cada uno de los anteriores problemas para la vida de las aves. Por ejemplo, el agua contaminada produce intoxicación y muerte de peces y animales terrestres, por tanto, falta de alimento para aves como el Halcón Peregrino, el Águila Pescadora, el Águila de Swanson y el Pato Careto. Además, el escenario debe representar modificaciones en la apariencia del agua, cambio en el rumbo que toman las aves por escasez de alimento, deterioro físico de las aves intoxicadas, entre otros.
3. El escenario debe permitir al usuario manipular simbólicamente variables para resolver esos problemas y ver las consecuencias de esa manipulación. Por ejemplo, los efectos de sembrar árboles y limpiar el humedal. Especialmente, es importante mostrar los cambios en la apariencia física del humedal representado y en la densidad de las aves en relación con la manipulación de esas variables. Esta característica se propuso teniendo en cuenta el principio de aprendizaje de la psicología cognitiva/constructivista, que plantea que las personas aprenden más cuando resuelven problemas anclados que cuando atienden pasivamente a exposiciones sobre la forma de resolverlos.
4. El escenario debe ser divertido, a la vez retador, de tal manera que se disfrute solucionando el problema del humedal, bajo la manipulación

de variables que en verdad pueda manejar una persona (como por ejemplo, sembrar árboles, limpiar el humedal, suspender la canalización del humedal) y no variables incontroladas (la lluvia, personajes u objetos mágicos que resuelven el problema del humedal, etc.).

5. Las representaciones del humedal y de las aves migratorias no deben ser caricaturescas, con el propósito de permitir a los usuarios tener representaciones de lo que es un humedal y de las aves que lo visitan, lo más acordes con la realidad.
6. Los cambios en las características físicas del humedal deben ser perceptibles al usuario para que establezca con mayor facilidad una relación lógica entre sus acciones (manipulación de las variables) y cambios en el estado del humedal.

Como se puede apreciar, la aplicación del ACT permitió planear y guiar la transformación de las exhibiciones de los museos en escenarios de aprendizaje. Ahora bien, su aplicabilidad para evaluar la idoneidad de instrumentos educativos, parece requerir de su uso complementario con el TRIZ. En este sentido, el uso de TRIZ demostró ser útil para que el diseño del escenario educativo represente lo que se desea; entre tanto, el ACT asegura que el diseño sea interactivo e incluya los componentes relevantes para aprender sobre el problema. Particularmente, la integración del TRIZ y ACT destacó la idea de que el escenario educativo del Museo debe propiciar su propio entendimiento, a partir de elementos que favorezcan el aprendizaje autónomo (que demanden poca ayuda del guía), interactividad (que el usuario pueda manipular algunas de las variables de acción del hombre, aves, humedales y observe relaciones de causa-efecto), durabilidad del producto (que el producto pueda reutilizarse muchas veces).

Discusión

Como se enunciaba al comienzo de este artículo, el rol de los museos, como escenarios informales de aprendizaje, es cada vez más reconocido, sin embargo, el cumplimiento de este rol pone de manifiesto una serie de retos para los museos. Uno de sus principales retos es facilitar el aprendizaje de conceptos científicos al tiempo que entretienen (Hornecker, Rennie y Johnson, citados en Barriault y Pearson, 2010). El trabajo interdisciplinario y el uso

de variadas técnicas de análisis sobre los productos y procesos de los museos pueden ayudar a alcanzar retos de este tipo. Bajo esta concepción, el presente trabajo propuso evaluar la idoneidad del uso de TRIZ y ACT para asegurar el cumplimiento de los objetivos educativos de los museos de ciencias.

Los resultados obtenidos en la fase 1 y 2 del presente trabajo demostraron que los métodos de análisis TRIZ y el ACT pueden emplearse para complementar sus potencialidades en el proceso de diseño de productos orientados al aprendizaje. Mientras el TRIZ presenta fortalezas en cuanto a la exploración de herramientas novedosas de sistemas técnicos centrados en el visitante, el ACT permite especificar en detalle los atributos del sistema a partir de los objetivos de enseñanza que tiene el Museo. Interessantemente, la aplicación de estos dos métodos evidenció que el proceso de diseño de este tipo de productos involucra tres aspectos relevantes: el sentido, la forma y la función de aquello que se desea enseñar en el Museo. El sentido lo aporta el ACT, mientras que la forma y la función del objeto se soportan en la aplicación de TRIZ.

Por otra parte, cabe destacar que el trabajo interdisciplinario en la primera etapa de generación de ideas con TRIZ permitió planear la elaboración de un producto con aspectos tecnológicos de avanzada, como también subrayar la importancia de que el producto fuera entretenido y divertido. Respecto a lo tecnológico, un grupo sugirió el uso del grafeno, nuevo material para visualización y almacenamiento de información de alta flexibilidad y dureza; otro grupo, el control de sistemas únicamente con el movimiento del cuerpo, que es una tendencia actual en las consolas de videojuegos. En relación con el entretenimiento y la diversión, un grupo indicó que el producto debería permitir al usuario vivir una experiencia de viaje a través del Museo con diferentes vehículos según el lugar de visita.

Por su parte, el ACT destacó como herramienta útil para señalar que las características de innovación tecnológica y de entretenimiento y diversión deben estar articuladas a productos educativos que representen los elementos fundamentales de la relación humanos, humedales y aves. Esto implica que el escenario de aprendizaje debe facilitar en el usuario el uso de relaciones causa-efecto, inferencia y categorización, entre otras.

Por todo lo anterior, se puede decir que la aplicación de TRIZ y ACT al diseño de escenarios educativos en el Museo puede facilitar el

cumplimiento de sus necesidades (por ejemplo, que el escenario educativo cumpla con los objetivos educativos del museo, al tiempo que sus propiedades físicas estén basadas en técnicas avanzadas) y las necesidades del usuario (que facilite la comprensión de la relación entre aves migratorias y humedales al tiempo que divierte y entretiene).

Una de las mayores fortalezas del presente trabajo es ofrecer una descripción detallada del uso del TRIZ y el ACT en el diseño de videojuegos educativos, pues son escasas sus referencias en la literatura. El estudio que más se acerca a esta propuesta es el de Wong (2006), quien utiliza estas técnicas para diseñar un software de entrenamiento para controladores aéreos; sin embargo, el uso que hacen del TRIZ no es intensivo y solo sirve de referencia conceptual para generar una interfaz novedosa para el programa. Por el contrario, el presente proyecto utilizó TRIZ para el análisis del problema como para especificar las características del escenario educativo, en forma detallada.

Entre tanto, Hwang y Wu (2012) afirman que la mayoría de los estudios en el campo del aprendizaje basado en juegos digitales (ABJD) se ha enfocado, principalmente, en la educación formal primaria y universitaria. En el caso del presente trabajo, el contexto de aplicación del TRIZ y ACT es en la educación informal, ampliando las perspectivas de aplicabilidad de estos métodos de análisis para mejorar el aprendizaje.

En el mismo estudio, anteriormente mencionado, también se identificó que las ciencias sociales y naturales son áreas donde la investigación sobre ABJD es poca pero ha ido aumentando en los últimos años. Esta característica permite afirmar que el videojuego que aquí se propone aportar a las tendencias actuales de educación en ciencias naturales con el uso de videojuegos.

Frente a las características actuales de los videojuegos enfocados a la educación, la revisión de la literatura científica (Cuenca y Martín, 2010; Daskolia y Kynigos, 2012; Tsai, Yu y Hsiao, 2012; Yang, Chien y Liu 2012) define como elementos esenciales: (a) tener una historia o narrativa que contextualiza una problemática real; (b) diseñar el videojuego a partir de un análisis riguroso de los requerimientos o elementos necesarios para conseguir los objetivos educativos esperados; (c) incluir situaciones de resolución de problemas que, más allá de la mecanización de procedimientos o memorización de conceptos, promuevan la

utilización de herramientas de pensamiento científico, como la realización de inferencias, formulación y comprobación de hipótesis. Con base en estos criterios de evaluación, se encontró que la mayoría de los videojuegos educativos para preservar el medio ambiente, por ejemplo, Selector de residuos, Es hora de reciclar (Pozo, 2012), Civia (Cuesta y Gómez, 2008), Taiga (Barab et al., 2009), Sus City (Daskolia y Kynigos, 2012), Super Delivery (Tsai, Yu y Hsiao, 2012), Ecopet (Yang, Chien y Liu 2012) y E-Junior (Wrzesien y Alcañiz, 2010), comparten las características de poseer una historia o narrativa sobre un problema real y plantean situaciones de resolución de problemas. En esta misma línea, se propuso el videojuego que facilitaría al Museo asegurar que sus visitantes comprendan la relación entre las aves migratorias y los humedales. La ventaja del presente estudio, en relación con las anteriores iniciativas, es que la primera se sustenta en un riguroso análisis, tanto de forma como de contenido del problema, para alcanzar los objetivos educativos esperados.

Futuras investigaciones deben continuar esta línea de trabajo, evaluando la efectividad del videojuego aquí propuesto, a partir de la aplicación de TRIZ y ACT, a una situación de aprendizaje en un museo, de forma que se evalúe en qué medida este juego permite alcanzar el objetivo educativo propuesto por el museo (que los usuarios aprendan sobre las aves migratorias⁹). Este estudio implicaría estudiar empíricamente si el aprendizaje de la relación entre humanos, humedales y aves migratorias es significativamente mejor cuando los usuarios participan del videojuego que cuando participan en escenarios expositivos tradicionales, como los que se encuentran actualmente en el Museo de Ciencias (diorama y mapa). Igualmente, implica estudiar si el elemento de diversión se conserva, con lo cual el nuevo diseño lograría el equilibrio deseado entre diversión y aprendizaje que es tan difícil de lograr en videojuegos educativos (Padilla, 2011).

⁹ El equipo de investigadores que participó en este estudio está desarrollando un proyecto de investigación aplicada, en el cual diseña el videojuego y lo implementa; el estudio también compara los desempeños en comprensión de los usuarios que participan del escenario tradicional con el desempeño de los usuarios que utilizan el video juego (Navarro-Newball, Ochoa-Angrino, Aguilar-Zambrano, y Bermúdez-Aguirre, 2013).

Referencias

- Allen, S. (2000). Designs for learning: Studying science museum exhibits that do more than entertain. *Science Education*, 88(1), 17-33.
- Allen, S. y Gutwill, J. (2009). Creating a program to deepen family inquiry at interactive science exhibits. *Curator*, 52(3), 289-306.
- Altshuller, G. (2000). *The innovation algorithm, TRIZ, systematic innovation and technical creativity*. Worcester, MA: Technical Innovation Center Inc.
- Ash, D. (2003). Dialogic inquiry in life science conversations of family groups in museums. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(2), 138-162.
- Barab, S., Scott, B., Siyahhan, S., Goldstone, R., Ingram-Goble, A., Zuiker, S. y Warren, S. (2009). Transformational play as a curricular scaffold: Using videogames to support science education. *Journal of Science Education and Technology*, 18(4), 305-320.
- Barriault C. y Pearson, D. (2010). Assessing exhibits for learning science centers: A practical tool. *Visitor Studies*, 13(1), 90-106.
- Benavides, A. y Chávez, P. (2005). *Documento de descripción y operación de la cartelera interactiva de rutas de aves migratorias y humedales del Valle del Cauca, del Museo Departamental de Ciencias Naturales "Federico Carlos Lehmann"*. Santiago de Cali, Colombia.
- Bernal, P. J. y Donado, G. L. (2010, Octubre). *Avances investigativos en ecohidrología de flujos locales: Caso de estudio humedal Laguna de Sonso, Valle del Cauca*. Ponencia presentada en el X Congreso Alhsud, Caracas, Venezuela.
- Blud, L. M. (1990). Social interaction and learning among family groups visiting a museum. *Museum Management and Curatorship*, 9(1), 43-51.
- Castellanos, C. A. (2006). Los ecosistemas de humedales en Colombia. *Revista Luna Azul*. Recuperado de http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=171&Itemid.
- Clarke, B. (1987). Knowledge acquisition for real-time knowledge-based systems. En *Proceedings of the First European Workshop of Knowledge i of Knowledge Based Systems*. Reading, England: Reading University.

- Clark, R. E., Feldon, D., van Merriënboer, J., Yates, K. y Early, S. (2007). Cognitive task analysis. En J. M. Spector, M. D. Merrill, J. J. G. Van Merriënboer y M. P. Driscoll (Eds.), *Handbook of research on educational communications and technology*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Clegg, T., Gardner, C., Williams, O. y Kolodner, J. (2006). Promoting learning in informal learning environments. En S. Barab, K. Hay y D. Hickey, (Eds.), *Proceedings of the Seventh International Conference of the Learning Sciences* (pp. 92-98). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Crowley, K. y Callanan, M. A. (1998). Identifying and supporting shared scientific reasoning in parent-child interactions. *Journal of Museum Education*, 23, 12-17.
- Crowley, K. y Galco, J. (2001). Everyday activity and the development of scientific thinking. En K. Crowley, C. D. Schunn y T. Okada, (Eds.), *Designing for science: Implications from everyday, classroom and professional settings* (pp. 393-413). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Crowley, K., Callanan, M., Jipson, J. L., Galco, J., Topping, K. y Shrager, J. (2001). Shared scientific thinking in everyday parent – child activity. *Science Education*, 85(6), 712–732.
- Crowley, K. y Jacobs, M. (2002). Building islands of expertise in everyday family activity. En G. Leinhardt, K. Crowley y K. Knutson (Eds.), *Learning conversations in museums* (pp. 333-356). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Csikszentmihalyi, M. y Hermanson, K. (1995). Intrinsic motivation in museums: What makes visitors want to learn? *Museum News*, 74(3), 59–61.
- Cuenca, J. y Martín, M. (2010). Virtual games in social science education. *Computers & Education*, 55(3), 1336-1345.
- Cuesta, C. y Gómez, C. (2008). Desarrollo de un videojuego serio de competencias ciudadanas. *Vector*, 3, 82-89.
- Chipman, S. F., Schraagen, J. M. y Shalin, V. L. (2000). Introduction to cognitive task analysis. En J. M. Schraagen, S. F. Chipman y V. L. Shalin, (Eds.), *Cognitive task analysis*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chulvi, V., González-Cruz, M., Mulet, E. y Aguilar-Zambrano, J. (2013). Influence of the type of idea-generation method on creativity of solutions. *Research in Engineering Design*, 24(1), 33-41.
- Daskolia, M. y Kynigos, C. (2012). Applying a Constructionist Frame to Learning about Sustainability. *Creative Education*, 3, 818-823.
- Deweitt, J. y Hohentein, J. (2010). Supporting student learning: A comparison of student discussion in museums and classrooms. *Visitor Studies*, 13 (1), 41-66.
- Dockett, S., Main, S. y Kelly, L. (2011). Consulting young children: experiences from a Museum. *Visitor Studies*, 14(1), 13-33.
- Ericsson, K. A. y Simon, H. A. (1984). *Protocol Analysis: verbal reports as data*. Cambridge, MA: MIT Press.
- González, M., Aguilar-Zambrano, J., Aguilar-Zambrano, J. J. y Gardoni, Mickael. (2008). La estrategia de creatividad sistemática TRIZ con equipos multidisciplinares de diseño de producto. *DYNA*, 83 (6), 337-350.
- Hoffman, R. R., Neville, K. y Fowlkes, J. (2009). Using cognitive task analysis to explore issues in the procurement of intelligent decision support systems. *Cognition, Technology & Work*, 11(1), 57-70. doi: 10.1007/s10111-008-0120-5.
- Hornecker, E. (2008). "I don't understand it either, but it is cool": Visitor interactions with a multi-touch table in a museum. *Proceedings of Tabletop IEEF* (pp.121-128). Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.186.2066&rep=rep1&type=pdf>.
- Hwang, G. y Wu, P. (2012). Advancements and trends in digital game-based learning research: a review of publications in selected journals from 2001 to 2010. *British Journal of Educational Technology*, 43(1), 6-10.
- Jonassen, D. H., Tessmer, M. y Hannum, W. H. (1999). *Task analysis methods for instructional design*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Kieras D. E. y Meyer D. E. (2000). The role of cognitive task analysis in the application of predictive model of human performance. En J. M. Schraagen, S. F. Chipman y V. L. Shalin, (Eds.), *Cognitive task analysis* (pp. 237-260). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Militello, L. G. y Hutton, R. J. (1998). Applied cognitive task analysis (ACTA): a practitioner's toolkit for understanding cognitive task demands. *Ergonomics*, 41(11), 1618-1641.
- National Research Council (2009). *Learning science in informal environments: People, places, and pursuits*. Washington, DC: The National Academies.

- Navarro-Newball, A., Ochoa-Angrino, S., Aguilar-Zambrano, J. y Bermúdez, D. (2013). Proyecto de investigación MOMU – Modelo interactivo para museos (documento no publicado). Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Orozco-Hormaza, M. (2000). El análisis de tareas: cómo utilizarlo en la enseñanza de la matemática en primaria. *Revista EMA*, 5(2), 139-151.
- Orozco, M., Ochoa, S. y Sánchez, H. (2000). *Prácticas culturales para la educación de la niñez*. Universidad del Valle y Fundación Antonio Restrepo Barco. Cali, Colombia: Panamericana Formas e Impresos.
- Padilla, Z. N. (2011). Metodología para el diseño de videojuegos educativos sobre una arquitectura para el análisis del aprendizaje colaborativo (Tesis doctoral no publicada). Universidad de Granada, España.
- Pedroza-Banda R. y Angarita, T. (2011). Herpetofauna de los humedales la Bolsa y Charco de Oro, Andalucía, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(135), 243-260.
- Peters M., Van Trujill H. y Reymen I. (2007). The development of a design behavior questionnaire for multidisciplinary teams. *Design Studies*, 28(6), 623-643.
- Pozo, M. (2012, Octubre). *Videojuegos y educación ambiental en educación primaria*. Conferencia presentada en el III Congreso Internacional Comunicación 3.0, Salamanca. Recuperado de <http://campus.usal.es/~comunicacion3punto0/comunicaciones/2012/608.pdf>.
- Pugh, S. (1991). *Total Design*. Wokingham: Addison-Wesley.
- Rafols, I. y Meyer, M. (2006). Knowledge-sourcing strategies for cross-disciplinarily in bionanotechnology. *SPRU Electronic Working Paper Series*, 152, 1-18.
- Salamatov, Y. (1999). *TRIZ: The right solution at the right time*. Krasnoyarsk: Insytec B.V
- Sanderson, P. M., James, J. M. y Seidler, K. (1989). *Shapa: An interactive software environment for protocol analysis*. EPRL Technical Report No. EPRL 89-08. University of Illinois en Urbana Champaign, Urbana, IL.
- Savransky, S. (2000). *Engineering of Creativity*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Schraagen, J. M. C., Chipman, S. E. y Shalin, V. L. (2000). *Cognitive task analysis*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Seamster, T., Redding, R. E., Cannon, J. R., Ryder, J. M. y Purcell, J. A. (1993). Cognitive task analysis of expertise in air traffic control. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(4), 257-283.
- Tsai, F., Yu, K. y Hsiao, H. (2012). Exploring the Factors Influencing Learning Effectiveness in Digital Game-based Learning. *Educational Technology & Society*, 15(3), 240-250.
- Wei, J. y Salvendy, G. (2004). The cognitive task analysis methods for job and task design: Review and reappraisal. *Behaviour & Information Technology*, 23(4), 273-299.
- Wong, B. W. (2006). Inventivity in HCI Education. *Inventivity: Teaching Theory, Design and Innovation in HCI, Proceedings of HCIEd*, 1, 67-72.
- Wrzesien M. y Alcañiz, M. (2010). Learning in serious virtual worlds: Evaluation of learning effectiveness and appeal to students in the E-Junior project. *Computers & Education*, 55(1), 178-187.
- Yang, J., Chien, K. y Liu, T. (2012). A digital game-based learning system for energy education: An energy conservation pet. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 11(2), 27-37.

Para citar este artículo/ to cite this article/ para citar este artigo: Ochoa Angrino, S., Aguilar Zambrano, J. A., Navarro Newball, A., Jaramillo Ramírez, A. y Henao Romero, L. (2013). Diseño de un escenario educativo para museos con el uso de TRIZ y ACT. *Pensamiento Psicológico*, 11(2), 71-88.