

# Experiencia de laboratorio virtual mejorada para el aprendizaje de planificación de redes inalámbricas

Luis Felipe Zapata-Rivera y Catalina Aranzazu-Suescun

**Resumen**—La educación en línea se beneficia de recursos digitales avanzados que actualmente pueden además ofrecer actividades interactivas como por ejemplo: Videos, animaciones, laboratorios virtuales y remotos, juegos en línea, entre otros. Los estándares educativos y los entornos virtuales de aprendizaje (VLE por sus siglas en inglés) permiten la integración de todos estos materiales en objetos de aprendizaje que se pueden implementar en cursos en línea masivos o MOOCs (Massive Open Online Courses).

Los laboratorios virtuales brindan la oportunidad de capacitar a los estudiantes y brindarles la confianza para futuras interacciones con entornos de laboratorio reales, con ventajas tales como: costo, portabilidad, concurrencia y seguridad. Los videojuegos educativos pueden mejorar la adquisición de conocimiento de los estudiantes y desarrollar habilidades tales como: velocidad mental, reacción, conexión entre pensamientos y movimientos y concentración.

Este artículo presenta la implementación de una experiencia de aprendizaje de laboratorio virtual que incluye el uso de videojuegos, contenido multimedia y simulaciones virtuales. El objetivo de este recurso es ayudar en el aprendizaje del problema de planificación de redes inalámbricas e incrementar el conocimiento de los conceptos claves de los estudiantes en el campo de las redes inalámbricas. El laboratorio virtual permite a los estudiantes resolver problemas simples de distribución de antenas y aumentar progresivamente el nivel al agregar restricciones e incluir nuevos conceptos en el diseño de la red.

**Index Terms**—Aprendizaje basado en juegos, videojuegos, laboratorios virtuales, objetos de aprendizaje, planificación de redes inalámbricas.

## I. INTRODUCCIÓN

La planificación de redes inalámbricas es un tema que se enseña en los niveles superiores del programa de ingeniería electrónica. Debido a sus múltiples variables de decisión, es un tema es difícil de entender y dominar. Sin embargo, es posible mapearlo a un juego debido a sus numerosas variables configurables, así como generar simuladores que pueden ayudar a los estudiantes a comprender el comportamiento de estas variables.

En los últimos 10 años, la preocupación por tener nuevas formas de enseñar los temas de STEM (Ciencia, tecnología, educación y Matemáticas) [1] y, en general, involucrar a los estudiantes y motivar su participación activa en las aulas, ha impulsado la investigación en el campo del aprendizaje basado en juegos. Estos juegos han evolucionado desde los juegos de clase no digitales a juegos digitales usando computadoras en el aula, y ahora, juegos móviles en línea donde los estudiantes pueden estar en cualquier lugar, jugando y aprendiendo.

El artículo presenta el diseño de un laboratorio virtual compuesto por un videojuego y una serie de actividades que tienen como objetivo impulsar y mejorar el aprendizaje de los

estudiantes en el tema de planificación de redes inalámbricas. El documento está organizado de la siguiente manera: la sección II presenta los trabajos relacionados en laboratorios virtuales y el aprendizaje basado en juegos; La Sección III presenta una descripción del problema de planificación de las redes inalámbricas. La Sección IV muestra la propuesta de laboratorio virtual con la definición del juego y las actividades de laboratorio propuestas para aprender la planificación de la red inalámbrica. Finalmente, se presentan las conclusiones.

Este documento amplía el documento titulado "Design of a Mobile Game for Wireless Networks Planning Learning" presentado y publicado en la LACCEI International Multi-Conference 2017 [2]. El documento presenta la inclusión del juego propuesto en [2] en un entorno de laboratorio virtual, que incluye contenido de clase multimedia y actividades en un simulador.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

La nueva era digital donde incluso los jóvenes a muy corta edad tienen acceso a internet, a todo tipo de contenido digital y aún más a todo tipo de juegos digitales, ha impuesto un gran desafío a los profesores para buscar nuevas formas de involucrar y motivar a los estudiantes con los temas de sus cursos.

Las actividades de laboratorio en un contexto educativo son muy importantes para el proceso de aprendizaje de los estudiantes en secundaria (k12) y niveles de educación superior. Los laboratorios son utilizados comúnmente en áreas como física, química, electrónica, biología, entre otros. Los laboratorios en línea son una solución para las instituciones que ofrecen programas educativos en línea y desean ofrecer capacitación práctica a sus estudiantes fuera de la clase, o para las instituciones que no poseen la infraestructura necesaria o los recursos para establecer algunos laboratorios específicos. Los laboratorios pueden ser físicos, en línea o una combinación híbrida de laboratorios físicos y en línea. Los laboratorios remotos y virtuales son tipos de laboratorios en línea. Un laboratorio remoto utiliza equipo físico real conectado a una red que puede controlarse de forma remota [3] a través de un computador u otros dispositivo conectado a internet. Los laboratorios virtuales son aquellos que utilizan plataformas de simulación para desarrollar actividades en un tema específico.

Según la naturaleza del recurso, los laboratorios se pueden clasificar como: reales o simulados y, desde el punto de vista del tipo de acceso al recurso, se pueden clasificar como locales o remotos. Además, se pueden usar para un usuario o para muchos usuarios simultáneamente conectados.

El trabajo de [4], presenta los Sistemas de Instrumentos Virtuales en Realidad (Virtual Instruments Systems In Reality - VISIR), que fue desarrollado por el Instituto de Tecnología Blekinge en Suecia (BTH). VISIR se centra en laboratorios en línea específicamente en áreas de ingeniería eléctrica y electrónica, incluyendo experimentos híbridos, virtuales y remotos. Los experimentos VISIR se han integrado y replicado en diferentes sistemas de manejo de aprendizaje remoto (Remote Learning Management Systems RLMS) en varios países del mundo.

Otro ejemplo de un laboratorio virtual es el proyecto: simulaciones interactivas de Tecnología de Educación Física (Physics Education Technology - PhET) [5], que es una plataforma abierta con cientos de simulaciones virtuales en temas como física, biología, química, ciencias de la tierra y matemáticas. Todas las simulaciones de PhET son recursos educativos abiertos (REA). El proyecto fue desarrollado en la Universidad de Colorado y financiado por el ganador del premio Nobel Carl Wieman. Su misión es "Avanzar en la alfabetización y la educación en ciencias y matemáticas en todo el mundo a través de simulaciones interactivas gratuitas".

En la misma línea, Labster [6] desarrolla laboratorios virtuales interactivos que incluyen simulaciones basadas en algoritmos matemáticos que admiten investigaciones abiertas. Sus productos también se desarrollan incluyendo simples elementos de juegos como entornos 3D, narración de historias y un sistema de puntuación. Los laboratorios se están utilizando para diferentes universidades, incluidas Harvard, MIT, Stanford, entre otras.

Por otro lado, el aprendizaje base del juego es una metodología para usar juegos para mejorar el conocimiento en un tema específico. Normalmente, esos juegos se desarrollan desde cero o se modifican para ser utilizados con fines de aprendizaje. Estos juegos se pueden usar en el aula, con o sin tecnología y, a veces, también se los llama juegos serios.

El aprendizaje basado en juegos se enfoca en enseñar contenido educativo a través de juegos, de esta manera, los estudiantes pueden resolver problemas, hacer estrategias, tomar decisiones, aprender y jugar al mismo tiempo. El aprendizaje basado en el juego puede ayudar a los estudiantes a construir conocimiento a través de prueba y error y motivación. El aprendizaje basado en el juego motiva a los estudiantes a aprender intrínsecamente, porque pueden jugar en escenarios de la vida real donde la persistencia es realmente importante para cumplir el objetivo del juego [7], [8].

El principio del aprendizaje basado en el juego es involucrar a los estudiantes en el juego mientras se mejora la experiencia de aprendizaje. Al ver la popularidad de algunos videojuegos, las compañías han desarrollado versiones educativas de estos videojuegos. Los autores de [9] usan MinecraftEdu para analizar la gamificación y han encontrado una mejora significativa en la innovación y motivación de los estudiantes para el campo de las ciencias sociales. Los autores de [10] han desarrollado su propio juego para ayudar a los estudiantes a mitigar su déficit en las habilidades matemáticas. El trabajo de [11], describe un cambio en los juegos educativos, en las actividades de aprendizaje y evaluación, convirtiendo al estudiante no solo en un jugador sino en un creador de juegos. Esto se

conoce como creación de juegos colaborativos. Su importancia radica en que los estudiantes pueden hacer parte de la creación de un juego, donde pueden aprender el tema de la clase, inventando juegos significativos para mejorar su conocimiento. Los juegos que se juegan en equipos pueden mejorar el trabajo colaborativo como se muestra en [14], [15]. En esos trabajos, se descubrió que las personas que trabajan en grupos tendrán una mejor retención y comprensión de los conceptos que aquellos que trabajan solos. El trabajo en equipo permite a los estudiantes trabajar en pensamiento crítico, análisis y síntesis, y así lograr un rendimiento mucho más alto que si trabajaran individualmente. Además, trabajar con personas que tienen pensamientos diferentes, les permite mejorar la resolución de problemas porque deben discutir y llegar a acuerdos entre las partes.

El aprendizaje basado en el juego puede mejorar varias habilidades, no solo las relacionadas con el juego relacionadas con el pensamiento rápido, la reacción y la concentración, sino también las habilidades transferibles, [16] que todo profesional necesita para tener éxito en la vida [17], [18]. El dominio de la escritura [19], las habilidades motoras [20] y el trabajo en equipo pueden ayudar a mejorar la adquisición de conocimiento sobre algún tema [9], [10], [21], [22].

Nuestro trabajo propone una experiencia de laboratorio virtual que combina elementos como la revisión del contenido de aprendizaje, herramientas de capacitación basadas en la simulación de situaciones reales y misiones de juegos interactivos. A partir de esto, el estudiante puede desarrollar su conocimiento completando una serie de tareas, que lo comprometen a continuar aprendiendo. Mientras el alumno interactúa con estos recursos, el sistema rastrea el rendimiento del alumno y envía informes a los profesores que pueden ajustar el nivel de dificultad de las actividades para que coincida con las necesidades de los alumnos y los requisitos de la clase. La principal contribución y novedad en este proyecto es el uso de elementos de gamificación y mecanismos de seguimiento que otros trabajos relacionados no implementan.

### III. PLANIFICACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS

En la planificación de redes inalámbricas se requiere resolver problemas de optimización. El objetivo principal en la planificación inalámbrica es tener bajos costos de instalación y altos niveles de cobertura con buena capacidad y calidad, escalabilidad y reconfigurabilidad en la red. Las variables a optimizar en este caso pueden ser la cobertura, interferencia, capacidad y costo de los recursos a utilizar. Además, la modificación de algunas variables de decisión, permite encontrar diferentes soluciones al problema de planificación inalámbrica. Estas variables de decisión pueden ser: ubicación y altura de las torres, número, tipo y orientación de antenas; número de canales, número de radios y potencia de transmisión, entre otros.

Varios autores han dedicado sus estudios a encontrar soluciones utilizando técnicas heurísticas, de acuerdo con diferentes problemas de optimización. Sin embargo, una alternativa para la planificación inalámbrica es utilizar algoritmos aproximados para resolver problemas combinatorios que pertenecen

a la clase NP-Complete (no determinista en tiempo polinómico - Completo).

Los problemas combinatorios no pueden resolverse de manera óptima mediante algoritmos polinómicos conocidos. Solo se pueden resolver utilizando algoritmos subóptimos y las soluciones se pueden verificar en tiempo polinómico. Desde el punto de vista computacional, los problemas combinatorios son inherentemente intratables y pueden tener transformaciones polinómicas entre todos los problemas problemas combinatorios [12], [13]. Los problemas de tiempo polinomial (P) son aquellos que siempre encuentran una solución óptima en el tiempo polinomial [13]. Los problemas no polinómicos (NP-completos) o combinatorios se definen como aquellos cuya solución no se puede encontrar en el tiempo polinómico. Hay una gran lista de problemas NP-completos estudiados y documentados, ejemplos son el problema del vendedor ambulante, el problema del Clique, la cobertura del vértice, la suma del subconjunto, el ciclo hamiltoniano, la coloración de gráficos, el conjunto independiente, la cobertura del conjunto, el problema del contenedor y la ubicación de instalaciones [12], [13]

Para resolver problemas combinatorios, los autores han desarrollado algoritmos subóptimos que aproximan las soluciones de manera significativa a lo óptimo. Dependiendo del problema, una solución óptima puede definirse como la solución que tiene el costo más alto o más bajo en las posibles soluciones. Los algoritmos subóptimos alcanzan un costo tal que siempre es peor que el óptimo.

Para este proyecto, los problemas que utilizamos son la cobertura y la capacidad. Esta es la definición formal del problema: determinar la ubicación óptima en un área  $A$  del número mínimo de sitios de un conjunto de  $N$  sitios disponibles, para cubrir completamente un conjunto de usuarios  $M$  y asignar la capacidad requerida, respetando la capacidad máxima de cada estación base [23].

Para simplificar este prototipo, fijamos algunos parámetros: potencia de transmisión, altura de las torres, orientación y tipo de antenas, una radio por antena, la capacidad demandada por usuario y una frecuencia única en todas las Estaciones base (BS). Las variables de decisión son el conjunto de sitios activos entre los sitios candidatos y la estación base a los que se conecta cada usuario. Cada estación base entrega la capacidad requerida por los usuarios conectados, asegurando que la demanda total de los usuarios conectados sea menor o igual que la capacidad total de la estación base. La figura 1 presenta el escenario para el problema de cobertura y capacidad. La capacidad total de las estaciones base podría fijarse como aparece en la figura 1 o puede ser variable como en las aplicaciones de la vida real.

Si cualquier instancia de un problema NP-Complete se puede transformar en una instancia del problema de planificación formulado, el problema de planificación también es NP-Complete. Con este razonamiento, procedemos a la formulación de los problemas de planificación inalámbrica en problemas combinatorios [12], [13]. Para todos los problemas, la demostración de la transformación de problemas completos de NP a problemas de planificación se basa en la posibilidad de encontrar un algoritmo hipotético, que sea capaz de resolver

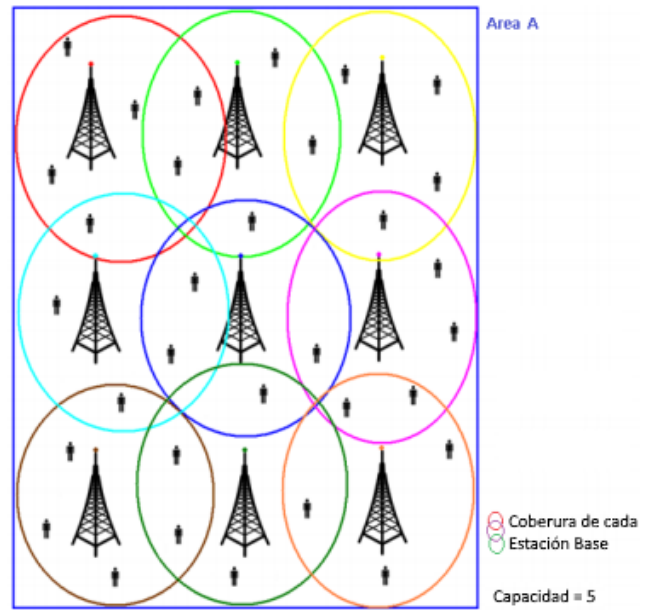


Figura 1. Escenario para el problema de la capacidad y cobertura

el problema de la planificación y proporcionar una solución que cubra a todos los usuarios de la conexión. Además, si el algoritmo encuentra una solución hipotética en el tiempo polinómico, entonces podemos establecer una relación uno a uno entre los actores del problema combinatorio y la planificación, y la solución sería válida para ambos problemas. Luego, el algoritmo hipotético resuelve el problema combinatorio en tiempo polinómico.

### III-A. El problema de la Cobertura en la planificación Inalámbrica

El problema de cobertura se puede definir como: Determinar la ubicación óptima en un área  $A$  del número mínimo de sitios de un conjunto de sitios disponibles de  $N$  para estaciones base (BS) también llamadas celdas, para cubrir completamente un conjunto de usuarios de  $M$ . Donde  $N$  y  $M$  reciben parámetros.

### III-B. El problema de la capacidad y Cobertura en la planificación Inalámbrica

El problema de cobertura y capacidad se puede definir como: Determinar la ubicación óptima en un área  $A$  del número mínimo de sitios de un conjunto de  $N$  sitios disponibles (BS), para cubrir completamente un conjunto de  $M$  usuarios y asignar la capacidad requerida, respetando la capacidad máxima de cada celda.

### III-C. El problema de la Cobertura de conjuntos (Set Cover)

El problema NP-Complete que puede transformarse en un problema de cobertura es el *Set cover* [12], [13]. El problema *Set Cover* tiene un conjunto universal  $U$  y un grupo de subconjuntos  $S$ , tal que la unión de los elementos de todos los subconjuntos  $S$  es el conjunto universal  $U$  y la intersección entre algunos de los subconjuntos es diferente de cero. Lo que

se requiere es encontrar el número de subconjuntos  $K < S$ , con los cuales se obtiene el conjunto universal  $U$ . Suponiendo la existencia de un algoritmo que resuelva de manera óptima el problema de la cobertura, podríamos resolver el problema del *Set Cover* de la siguiente manera:

- Cada subconjunto de  $S$  representa el conjunto de usuarios o cobertura área de una estación base.
- La pregunta a resolver es: Cómo cubrir a todos los usuarios con un número  $N$  de estaciones base asociadas con zonas de cobertura .

#### III-D. El problema de ubicación de instalaciones con capacidad (*Capacitated Facility location Problem*)

El problema de NP-Complete que se puede transformar en el problema de cobertura y capacidad es *Capacitated Facility location Problem* [12], [13]. El problema de *Capacitated Facility location Problem* tiene varias instalaciones o ubicaciones para habilitar, entonces el requisito es habilitar un conjunto  $K$  de instalaciones, para que todos los usuarios puedan ser atendidos. Suponiendo la existencia de un algoritmo (hipotético) que resuelve el problema de cobertura y capacidad, este algoritmo también resuelve la *Capacitated Facility location Problem* de la siguiente manera:

- Cada instalación o ubicación candidata se representa como un sitio candidato de estación base (BS o celda).
- Atender a un usuario tiene un costo  $C$ , así como asignar un usuario a la instalación, que depende de la distancia entre el usuario y la instalación.
- Cada instalación tiene una capacidad máxima de usuarios que pueden atender, y debe ser diferente de cero, para garantizar que la solución trivial de no ubicar ninguna instalación no sea factible.

### IV. LA PROPUESTA DE LABORATORIO VIRTUAL

Las implementaciones de sistemas de laboratorios en línea han aumentado rápidamente durante la última década. Los laboratorios virtuales utilizan entornos de simulación que imitan los comportamientos de los dispositivos de laboratorio reales. Los resultados del proceso de experimentación virtual deberían ser similares a los obtenidos en un laboratorio real, sin embargo existen algunas diferencias debido a que los resultados en los laboratorios virtuales se basan en cálculos, plataformas de software y fórmulas matemáticas. Los laboratorios virtuales más avanzados incluyen en el procesamiento de datos información de experimentos previos realizados en laboratorios reales para crear un entorno más realista y confiable que tenga en cuenta el comportamiento de los componentes reales.

La figura 2 presenta la arquitectura de la propuesta de laboratorio virtual.

Esta arquitectura incluye 5 elementos principales: Usuarios, Servidor de videojuegos, Servidor de laboratorios virtuales, Entorno de aprendizaje virtual (Virtual Learning Environment - VLE) y librería de experiencia (Experience API - xAPI) - Almacén de registros de aprendizaje (Learning Record Store - LRS). Los usuarios son los estudiantes que pueden acceder al laboratorio virtual a través del computador o dispositivo móvil.

El servidor de videojuegos aloja los componentes del juego, como las interfaces gráficas de usuario (Graphic User Interface - GUI) (para los niveles del juego, la selección de niveles, la configuración de puntajes, entre otros), la lógica del juego (módulos que controlan, eventos, estados del juego, tiempo, puntajes, sistemas de colisión, etc.), almacenamiento, bases de datos, compiladores e intérpretes de lenguajes de programación, servidor de aplicaciones web y cualquier otro módulo de soporte para garantizar la estabilidad y confiabilidad del juego. El servidor de laboratorio virtual incluye: la GUI de simulación, las actividades y los componentes del simulador (intérprete de Python y API de soporte). El VLE integra el recurso de laboratorio virtual como un módulo externo. Las declaraciones xAPI se utilizan para pasar información en ambas direcciones: la información sobre el contenido del curso (lecciones en video) se envía desde el VLE al laboratorio virtual y la información sobre los resultados del estudiante se envía desde el laboratorio virtual al VLE.

#### IV-A. Descripción de la Experiencia de Aprendizaje a través del Laboratorio Virtual

La experiencia de laboratorio virtual propuesta está compuesta por tres niveles. En cada nivel, el estudiante tiene que completar un nivel del juego, ver un contenido multimedia de planificación de redes inalámbricas y finalmente completar una actividad utilizando el simulador basado en algoritmos en lenguaje Python.

La figura 3 presenta la interfaz del laboratorio virtual con las pestañas del juego, el video de la lección y la actividad. La figura muestra la vista del las catividades del nivel 1 en el laboratorio virtual.

#### IV-B. Descripción del Juego

Para el desarrollo del juego, integramos la mejora del ambiente de aprendizaje del tema de planificación de la red inalámbrica con el motivación por el juego. Esta combinación permite la posibilidad de crear experiencias de juego que aprovechan el conocimiento del estudiante utilizando las poderosas cualidades del juego para involucrar y enganchar a los estudiantes.

Al estar en una era tecnológica, es necesario potenciar y aprovechar las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la educación. Existen varias plataformas para desarrollar videojuegos como: Unity [25], Unreal Engine 4 [26], GameMaker [27] entre otros. Estas plataformas tienen características diferentes, tales como desarrollo en 2D o 3D, movilidad, compatible con diferentes sistemas operativos como: Windows, Linux, MacOS, iOS o Android. El juego propuesto como parte de la experiencia de laboratorio virtual fue desarrollado para un público que podría tener o no un conocimiento previo sobre el tema de planificación de redes inalámbricas. La idea es enseñar algunos conceptos básicos del problema de planificación inalámbrica, pero de manera implícita. Por lo tanto, los jugadores después de dominar el juego podrían aprender o mejorar de manera más fácil, rápida y efectiva los conceptos de planificación de redes inalámbricas.

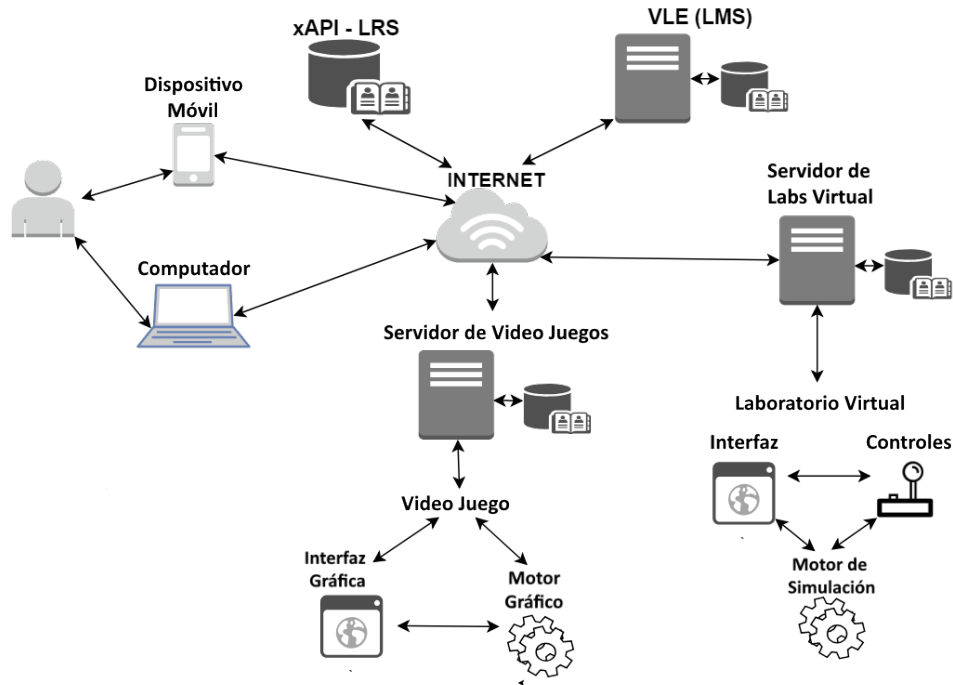


Figura 2. Arquitectura del laboratorio virtual propuesto

Además, los jugadores también pueden jugar el juego solo con fines de entretenimiento.

El juego se basa en un típico juego de policías y ladrones. El juego tiene lugar en las calles de Manhattan - Nueva York. La historia comienza cuando un ladrón roba una gran cantidad de dinero de un banco y una patrulla policial comienza a perseguirlo. El ladrón trata de no ser capturado por la policía que circula por las calles, pero en su intento de escapar, las bolsas de dinero salen de su automóvil. Entonces, el ladrón intentará recuperar las bolsas pero sin ser capturado por la policía. Entonces, el juego comienza con una calle cubierta de bolsas de dinero, un ladrón que conduce un automóvil rojo y el jugador es un automóvil de la policía.

El jugador desempeñará el papel de la policía, por lo que conducirá a la patrulla policial para tratar de recuperar las bolsas de dinero antes que el ladrón. Cada bolsa debe recogerse en algunas instalaciones que estarán en algunos rincones de la ciudad. Estas son las reglas básicas:

- El objetivo principal del juego es recolectar bolsas de dinero que el ladrón deja caer en un período de tiempo limitado.
- Cada bolsa debe colocarse en algunas instalaciones predefinidas ubicadas alrededor de la ciudad. Las instalaciones se refieren a cajas fuertes o bancos.
- El carro del jugador tiene una capacidad limitada para almacenar las bolsas recolectadas. Las bolsas deben colocarse en instalaciones que están en 2 bloques alrededor de donde fueron recolectadas.
- Cada instalación tiene una capacidad máxima para recolección de bolsas que el jugador no puede superar. Si el jugador va a una instalación para colocar una bolsa y la instalación está llena, el jugador debe ir a otra instalación.

- Por cada bolsa que recupere el ladrón, la puntuación del jugador disminuirá como penalización.
- El juego finaliza si: el tiempo limitado expira o si no hay más bolsas para recoger en el campo y el ladrón ha sido capturado.
- El jugador gana si todas las bolsas se recogieron de la calle y si el jugador recoge más bolsas que el ladrón en el período de tiempo dado o en menos tiempo.
- Si el jugador gana en menos tiempo que el establecido, recibirá puntos de bonificación en su puntaje final.

Si se acaba el tiempo y el jugador ha recogido más bolsas que el ladrón, el ladrón se rendirá. Pero si todavía hay tiempo en el juego y el jugador tiene más bolsas que el ladrón y no hay más bolsas en la calle, el jugador puede tratar de perseguir al ladrón para obtener algunos puntos extra.

El juego tiene 3 niveles, cada uno tiene más requisitos y reglas que se asemejan al problema de planificación de cobertura y capacidad. La figura 4, presenta una imagen del nivel 1 del juego con una zona ampliada del juego.

El último nivel será el que tenga más similitud con el problema de planificación inalámbrica. Estas son las descripciones detalladas de cada nivel del juego:

- Nivel 1  
El jugador necesita recoger las bolsas antes que el ladrón. Si el ladrón recupera más bolsas que el jugador cuando expira el tiempo, el jugador perderá. La zona tendrá instalaciones cada 2 bloques, 6 instalaciones en total y cada instalación tiene una capacidad ilimitada. El ladrón dejará 20 bolsas en las calles.
- Nivel 2  
De manera similar al nivel uno, el jugador necesita recoger las bolsas antes que el ladrón. La zona tendrá

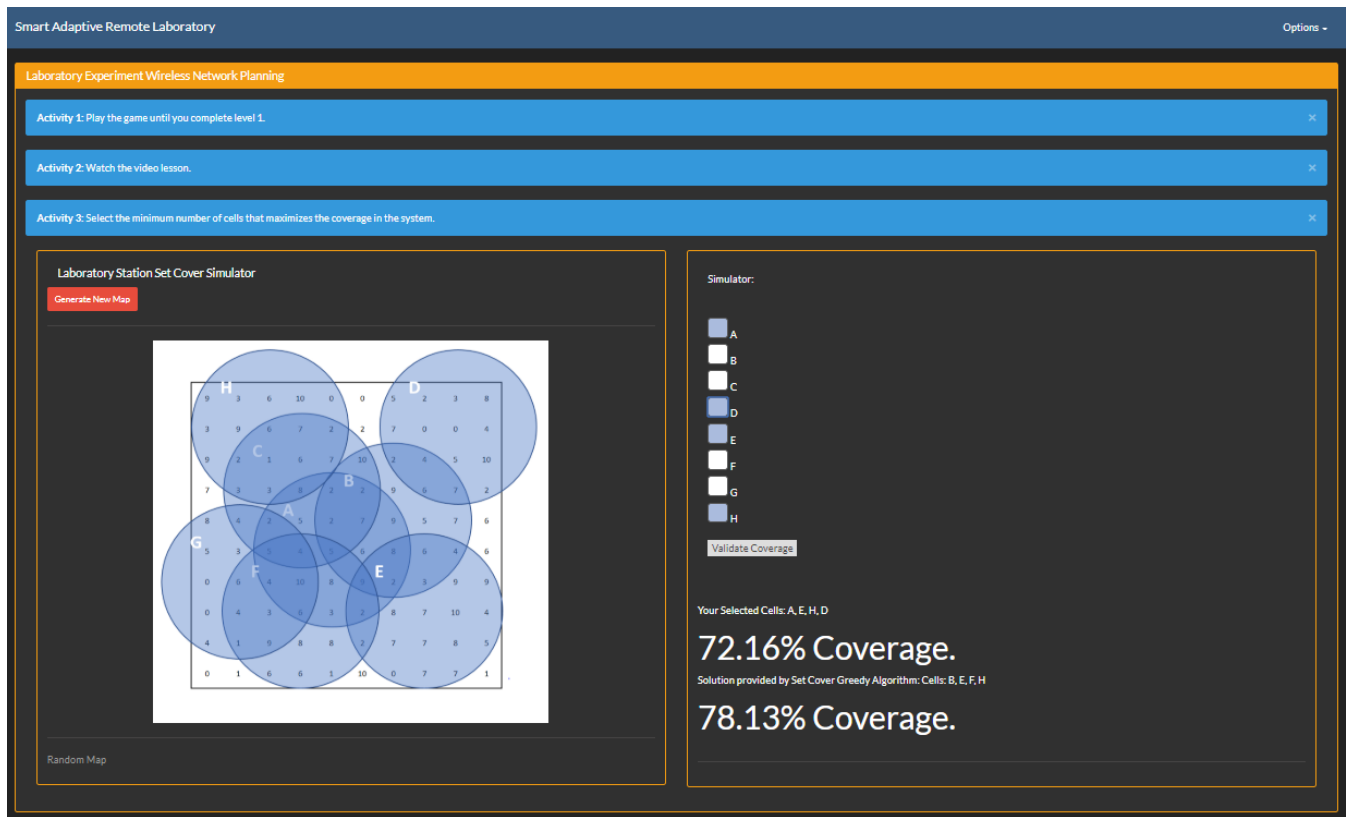


Figura 3. Vista de las actividades en el laboratorio virtual

instalaciones cada 2 cuadras, 6 instalaciones en total y las instalaciones tendrán capacidades diferentes (un número entre 2 y 5 bolsas). El ladrón dejará 30 bolsas en las calles y aumentará la velocidad de su automóvil.

■ Nivel 3

Al comienzo del juego, el jugador puede ver dónde se encuentran las bolsas de dinero.

- El jugador elegirá dónde quiere ubicar las instalaciones.
- El jugador tiene un número máximo de instalaciones para ubicar y algunos lugares predefinidos para ubicarlos.
- Por cada instalación que el jugador no localice, la puntuación final aumentará en un 10 %.
- El jugador tendrá un presupuesto inicial para colocar sus instalaciones y cada instalación tiene un costo dependiendo de su capacidad.
- Más capacidad implica más costo.
- La capacidad de cada instalación estará entre 5 y 10.
- En este nivel, el ladrón dejará 100 bolsas y aumentará su velocidad. La zona de juego será 4 veces más grande que el área de los niveles 1 y 2.

IV-C. Mapeo del juego con la planeación de redes inalámbricas

La tabla I muestra el mapeo de las suposiciones y las características de un simple problema de planificación de redes inalámbricas, específicamente, el problema de cobertura y capacidad con nuestro juego.

Cuadro I  
MAPEO DEL PROBLEMA REAL CON EL JUEGO

Suposiciones del problema de la cobertura y capacidad	Características del juego
Área para cubrir	Área donde el ladrón deja las bolsas de dinero
Sitios candidatos para localizar las BS	Sitios candidatos para localizar las instalaciones para recoger el dinero
Capacidad de las BS	Capacidad de las instalaciones
Demanda de los usuarios	Número de bolsas de dinero
Rango de cobertura de transmisión de las antenas	Las instalaciones están ubicadas cada dos bloques
Objetivo del problema: cubrir un área con estaciones base, asignar a cada usuario una BS para conectarse y las BS tiene capacidad infinita	Nivel 1: recuperar bolsas de dinero antes de que un ladrón y llevarlas a instalaciones ubicadas previamente, donde las instalaciones tiene capacidad infinita
Objetivo del problema: cubrir un área con estaciones base para que todos los usuarios tengan asignada una BS y cada BS tiene un número máximo de usuarios que puede conectar	Nivel 2: recuperar bolsas de dinero antes de que un ladrón, llevarlas a instalaciones ubicadas previamente, que poseen diferentes capacidades
Objetivo del problema: encontrar el número mínimo de BS con las cuales se puede cubrir toda el área y todos los usuarios pueden conectarse a una base estación	Nivel 3: recupera bolsas de dinero ante un ladrón llevándolos a algunas instalaciones con diferentes capacidades donde el jugador puede elegir los lugares para poner las instalaciones y la capacidad de cada instalación con un presupuesto dado

Es importante notar que la versión del problema utilizado en el videojuego se ha simplificado para permitir la posibilidad

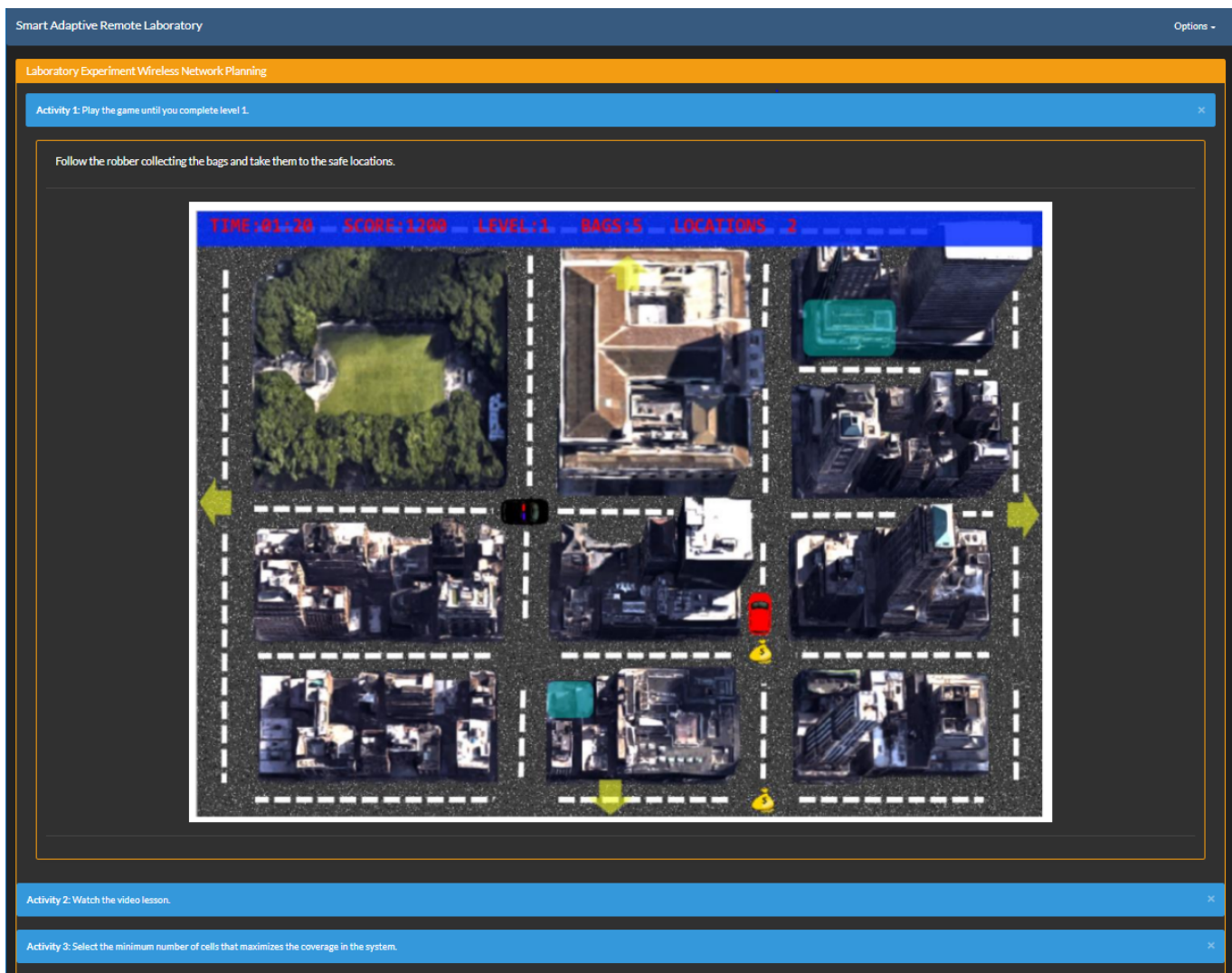


Figura 4. Vista de nivel 1 del juego en el laboratorio virtual

de mapearlo en un juego no muy complejo. De esta manera, incluso el público que no tiene conocimiento sobre el tema específico, puede jugarlo.

En el nivel 3 del juego, la distribución de las bolsas en las calles simula la distribución de personas en las calles de Manhattan.

Por lo tanto, habrá más bolsas en los lugares donde la mayoría de las personas se encuentran en Manhattan. Ahora, con esta función y para tener un enlace adicional con el tema del problema de planificación de redes, para el nivel 3 del juego, ejecutamos un algoritmo aproximado para el problema de cobertura con capacidad, para identificar posibles soluciones subóptimas al problema dado [23]. De esta manera, si el jugador encuentra una disposición similar de las instalaciones, con capacidades similares a la solución dada por el algoritmo, el jugador recibirá una bonificación extra en el juego. Para acceder a este bono adicional, el usuario debe elegir la opción en el menú y ver un video introductorio sobre el problema de planificación de redes inalámbricas; característica que ha sido ampliamente utilizada en los juegos móviles actuales.

Algunas características del juego son:

- Las flechas amarillas indican que la zona ha sido ampliada. Entonces se pueden conducir más calles en el juego. Sin embargo, la zona se delimitará en cada nivel, esto significa que solo algunos bloques serán parte de la zona del juego, incluso en el nivel 3 que usa la zona más grande.
- El juego también tiene un efecto de túnel similar al juego Pacman [29], donde el auto puede salir a la derecha y aparecer en la parte izquierda de la pantalla y viceversa.
- El juego tiene un banner en la parte superior de la pantalla donde el jugador puede ver el progreso de su juego, con el tiempo transcurrido, el puntaje debido a las bolsas recuperadas, el nivel que está jugando, el número de bolsas restantes y el número de instalaciones en la zona.
- Las instalaciones se identifican con un rectángulo cian translúcido.
- El ladrón conduce el auto rojo y el jugador conduce el auto de la policía.

#### IV-D. Actividades de Laboratorio Propuestas

En esta subsección, proponemos tres actividades que complementan el proceso de aprendizaje de los estudiantes en el tema de planificación de redes inalámbricas para que sean compatibles con los niveles del juego.

Utilizamos el lenguaje Python para ejecutar algoritmos heurísticos para validar las respuestas dadas por los estudiantes. Para el problema de cobertura, lo asignamos al problema de *Set Cover*, y usamos el algoritmo codicioso (Greedy Algorithm) de [30]. Para el problema de cobertura más capacidad, lo asignamos al problema de *Capacitated facility Location* y utilizamos la heurística Recocido simulado (*Simulated Annealing*) [31] para encontrar una solución subóptima del problema.

Las actividades se dividen en 3 niveles. Para el nivel uno usamos el problema de cobertura. Para el nivel dos, el problema de cobertura más capacidad. Y el tercer nivel usa el mismo problema que el nivel dos, pero le da más control de algunas variables al estudiante.

*IV-D1. Nivel 1 "Actividad de Cobertura"*: En este nivel, el estudiante debe enfrentarse al problema de cobertura en la planificación de la red inalámbrica. Se le da un dibujo de un área cuadrada con un cierto número de círculos, simulando las celdas en la planificación de la red. Cada celda tiene una cantidad de personas a ser cubiertas, dada por un conjunto de números en el área cubierta por la celda. El estudiante necesita determinar una posible solución donde pueda cubrir la mayor cantidad de personas con una cantidad reducida de recursos.

Luego, el estudiante usará las casillas de verificación para marcar las celdas que él cree que son las que se pueden usar para cubrir el área. La figura 3 muestra la vista de la actividad en el nivel 1.

Después de decidir las celdas a utilizar, el estudiante presiona el botón *Validate Coverage* y encontrará el porcentaje de cobertura con su respuesta y el resultado dado por el algoritmo Greedy.

*IV-D2. Nivel 2 "Actividad de Cobertura + Capacidad"*: En este nivel, el estudiante debe enfrentarse al problema de cobertura y el problema de capacidad en la planificación de redes inalámbricas. En este caso, el alumno recibe un dibujo de un área cuadrada con números que representa la cantidad de personas, el alumno tiene el control de cuántas celdas de diferente capacidad pueden ubicarse en el área. El estudiante necesita ubicar cada celda en un lugar donde la cantidad de personas sea menor o igual que la capacidad de la celda.

Después de decidir las ubicaciones y el número de celdas, el estudiante presiona el botón *Validate Coverage* y encontrará el porcentaje de cobertura con su respuesta y el resultado dado por el algoritmo de recocido simulado.

*IV-D3. Nivel 3 "Actividad de diseño de Cobertura + Capacidad"*: En este nivel, el estudiante tiene que comprar celdas para cubrir y dar capacidad a las personas en el área. Existen diferentes tipos de celdas dependiendo de la capacidad que puedan dar. El estudiante tiene el control de cuántas y qué celdas quiere ubicar en el área cuadrada. Cada celda tiene un costo dependiendo de cuántas personas pueda cubrir la celda. Cuantas más personas pueda cubrir una celda, más costosa será la celda.

El área con las personas distribuidas dado en el juego. El estudiante tiene un presupuesto inicial para comprar las celdas y colocarlas en el área.

Después de decidir cuántas celdas usar, el estudiante presiona el botón *Validate Coverage* y encontrará el porcentaje de cobertura con su respuesta y el resultado dado por el algoritmo de recocido simulado.

## V. CONCLUSIONES

Mediante el uso de estándares educativos, tecnologías como xAPI y entornos virtuales de aprendizaje (VLE), es posible alimentar al laboratorio virtual con diferentes actividades y materiales de aprendizaje. La información puede fluir en ambas direcciones, desde el perfil del alumno en el VLE hasta el laboratorio virtual y viceversa, manteniendo también actualizados los registros del alumno en el VLE.

Los laboratorios virtuales prueban ser una herramienta versátil para proporcionar un aprendizaje experimental significativo a los estudiantes, reduciendo costos y respaldando la concurrencia de cientos o miles de usuarios simultáneamente.

Encontrar la combinación correcta entre los dos mundos, los conceptos académicos y el mundo del juego, es la forma en que podemos utilizar la motivación generada para los juegos a favor del aprendizaje.

Una de las ideas principales con este proyecto es generar un entorno virtual general atractivo, utilizando un contexto para un juego completamente diferente al contexto del tema, pero manteniendo implícitos los temas de aprendizaje y un conjunto de multimedia y actividades para reforzar el proceso de aprendizaje.

"Si una persona domina este laboratorio virtual, también dominará el tema".

## REFERENCIAS

- [1] STEM Education Coalition. (Online): <http://www.stemedcoalition.org/> [Accessed Feb 25, 2019]
- [2] C. Aranzazu-Suescun and L. F. Zapata-Rivera, Design of a Mobile Game for Wireless Networks Planning Learning. *2017 LACCEI International Multi-conference of Engineering, Education and Education*. Boca Raton, FL-USA. Jul 2017. DOI: 10.18687/LACCEI2017.1.1.530
- [3] M. J. Callaghan, J. Harkin, T. M. McGinnity, and L. P. Maguire, Paradigms in Remote Experimentation. *International Journal of Online Engineering*, Vol 3, issue 4, 2007.
- [4] I. Gustavsson, J. Zackrisson, L. Hakansson, I. Claesson and T. Lago, The visir project - an open source software initiative for distributed online laboratories. *4th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2007)*. Porto - Portugal, 2007. (Online): [http://openlabs.bth.se/static/igu/Publ/Konferensbidrag/Gustavsson\\_REV2007VISIRinitiative7.pdf](http://openlabs.bth.se/static/igu/Publ/Konferensbidrag/Gustavsson_REV2007VISIRinitiative7.pdf) [Accessed Jan 20, 2019]
- [5] PhET Physics Education Technology, Projects Inc. (Online): <https://phet.colorado.edu> [Accessed Jan 20, 2019]
- [6] Labster, (Online): <https://www.labster.com/> [Accessed Jan 20, 2019]
- [7] I. Chiang, R. Shinh, E. Zhi-feng liu and A. Jun-yen lee, Using game-based learning and interactive peer assessment to improve career goal and objectives for college students. *International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment*, Springer LNCS, Vol 6872. DOI: 10.1007/978-3-642-23456-9\_91
- [8] K. E. DiCerbo, Game-Based Assessment of Persistence. *Journal of Educational Technology & Society*, Vol 17, No 1. Jan, 2014.



- [9] R. Cozar-Gutierrez and J. M. Saez-Lopez, Game-based learning and gamification in initial teacher training in the social sciences: an experiment with MinecraftEdu. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. Vol 12. Jun, 2016. DOI: 10.1186/s41239-016-0003-4
- [10] S. Y. Syed Hussain, W. H. Tan and M. Zaffwan Idris, Digital Game-Based Learning for Remedial Mathematics Students: A New Teaching and Learning Approach in Malaysia. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*. 2014.
- [11] K. Osman and N. A. Bakar. Teachers and Students as Game Designers: Designing Games for Classroom Integration. *New Pedagogical Approaches in Game Enhanced Learning: Curriculum Integration, Book*. Apr 2013.
- [12] T. H. Cormen, C. E. Leiserson and R. L. Rivest, Introduction to Algorithms. Sixth edition. *Massachusetts Institute of Technology Editorial*. United States, 1996.
- [13] C.H. Papadimitriou and K. Steiglitz, Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity. *Prentice Hall*, 1982.
- [14] S. Bermingham, N. Charlier, F. Dagnino, J. Duggan, J. Earp, K. Kiili, E. Luts, L. van der Stock, and N. Whitton, 2013, Approaches to Collaborative Game-Making for Fostering 21st Century Skills. *7th European Conference on Game Based Learning*. Portugal, Oct 2013.
- [15] A. A. Gokhale, Collaborative Learning Enhances Critical Thinking. *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. 1995. DOI: 10.1007/978-1-4419-1428-6\_910
- [16] L. F. Zapata-Rivera and C. Aranzazu-Suescun, Game-Based Assessment for Radiofrequency Circuits courses in Engineering. *Frontiers in Education 2015*. El Paso, TX - USA. Oct, 2017. DOI: 10.1109/FIE.2015.7344108
- [17] M. Binkley, O. Erstad, J. Herman, S. Raizen, M. Ripley and M. Rumble, Draft white paper 1: Defining 21st century skills. *Learning and Technology Forum*. 2010.
- [18] A. P. Carnevale, 21st Century Competencies for College Readiness. Skills for career Success in the 21ST Century. (Online): <http://hdl.handle.net/10822/559289> [Accessed: Feb 25, 2019]
- [19] H. O'Donnell, Games-Based Learning as an Interdisciplinary Approach to Literacy across Curriculum for Excellence. *Press Start Games-based Interdisciplinary Learning in CjE*. 2015.
- [20] H. S. Hsiao and J. C. Chen, Using a gesture interactive game-based learning approach to improve preschool children's learning performance and motor skills. *Computers and Education*. Vol 95. Apr 2016. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.01.005
- [21] D. C. Rotaru, B. Fernandez-Manjon, A. Katri and R. H. Tambouret, Design and Development of a Serious Game for Medical Training in Cytopathology. *6th International Conference on Digital Health Conference*. Montréal, Québec - CA. Apr, 2016. DOI: 10.1145/2896338.2897731
- [22] Y. K. Juan and T. W. Chao, Game-Based Learning for Green Building Education. *Sustainability*. Vol 7, No. 5. May 2015. DOI: 10.3390/su7055592
- [23] C. Aranzazu-Suescun and R. Hincapie-Reyes, Solution to the wireless network planning problem through sub-optimal algorithms. Master thesis. Pontificia Bolivariana University. Medellin - Colombia 2011.
- [24] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest and C. Stein, Introduction to Algorithms. *MIT Editorial*. Third edition. United States. 2009.
- [25] Unity-Game engine, (Online): <https://unity3d.com/> [Accessed: Feb 25, 2019]
- [26] Yo Yo Games - Game Maker, (Online): <http://www.yoyogames.com/gamemaker> [Accessed: Feb 25, 2019]
- [27] Unreal Engine, (Online): <https://www.unrealengine.com/> [Accessed: Feb 25, 2019]
- [28] CC Creative Commons, (Online): <https://search.creativecommons.org/> [Accessed: Feb 25, 2019]
- [29] Nintendo Pacman, (Online): [http://nintendo.wikia.com/wiki/PacMan\\_\(video\\_game\)](http://nintendo.wikia.com/wiki/PacMan_(video_game)) [Accessed: Feb 25, 2019]
- [30] A. Gupta, R. Krishnaswamy, A. Kumar and D. Panigrahi, Online and dynamic algorithms for set cover. *the 49th Annual ACM SIGACT Symposium on Theory of Computing*. Montreal - Canada. Jun, 2017. DOI: 10.1145/3055399.3055493
- [31] Y. Dong, J. Wang, F. Chen, Y. Hu, and Y. Deng, Location of Facility Based on Simulated Annealing and "ZKW" Algorithms. *Mathematical Problems in Engineering*, Vol 2017. Aug, 2017. DOI: 10.1155/2017/4628501



**Luis Felipe Zapata-Rivera** es Doctor en Ingeniería Informática de Florida Atlantic University, en Boca Raton, Florida, EE. UU.. Recibió la maestría en ingeniería de la Universidad Eafit y el título de ingeniería de sistemas de la misma institución en Medellín-Colombia. Trabajó como asistente de investigación en LACCEI y es el vicepresidente del grupo de trabajo estándar P1876 - Objetos de aprendizaje inteligentes en red para laboratorios en línea de IEEE. En el pasado trabajó como asistente de investigación en la Universidad Eafit. Sus áreas de investigación incluyen: laboratorios en línea, sistemas de evaluación en línea y sistemas IoT (Internet of Things). Ha desarrollado sistemas de software para la evaluación automática (evaluaciones basadas en computador), plataformas para la gestión de laboratorios en línea. Zapata-Rivera ha publicado varios documentos de conferencias y revistas en laboratorios en línea, herramientas de evaluación para arquitecturas educativas y de software y ha recibido el Premio al Mejor artículo en IEEE-REV 2016. Actualmente trabaja como profesor asistente en la Universidad Aeronáutica Embry Riddle, en Prescott-Arizona.



**Catalina Aranzazu-Suescun** es Doctora en Ingeniería Eléctrica de Florida Atlantic University, en Boca Raton, Florida, EE. UU. Recibió la maestría en telecomunicaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana y el título en ingeniería electrónica de la Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia, en 2011 y 2007, respectivamente. Sus intereses de investigación incluyen redes de sensores inalámbricos, protocolos de comunicación, optimización de algoritmos y planificación de redes. Tiene varias publicaciones en memorias de conferencias y revistas y ha recibido el Premio al Mejor artículo en IEEE IPCCC 2016. Es miembro de IEEE.