



- Capítulo 3 -

**Laboratorio virtual de la calidad del agua
para el derecho y la gestión ambiental
empresarial**

Autores

July Katherine García Vargas: Ingeniera Ambiental, Especialista en Derecho Ambiental, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Consultora ambiental y docente. Con más de 10 años en asesoría ambiental, elaboración de estudios ambientales y trámites de permisos ambientales, concesiones y licencias ambientales para diferentes sectores económicos.

Correspondencia: *jkgarcia@poligran.edu.co; derecho.ambientalpoli@gmail.com*

Diana Carolina Barreto Reyes: Administradora Ambiental. Magister en Gestión y Auditorías Ambientales, Especialista en Gerencia en Seguridad y Salud en el Trabajo. Consultora ambiental empresarial y docente universitaria. Con más de 15 años de experiencia en asesoría, diseño e implementación de sistemas de gestión, análisis de riesgo y consultoría estratégica empresarial para diferentes sectores económicos.

Correspondencia: *dbarreto@poligran.edu.co; carolinabarretor@gmail.com*

Resumen

El presente documento presenta el proceso de creación, diseño, estructuración, desarrollo e implementación del laboratorio de calidad del agua para el programa de Tecnología en Gestión Ambiental del Politécnico Grancolombiano. El laboratorio de calidad de agua se divide a su vez en dos herramientas de software trabajadas como weblabs o laboratorios virtuales en línea; el primero de ellos es el de derecho ambiental, que consiste en seis prácticas con casos reales donde se tienen unos parámetros de medición del agua y la idea es que el estudiante contraste con los máximos permisibles de la normatividad vigente colombiana, realice el análisis del estado del agua y proponga acciones para corregir o mejorar la situación.

El segundo es de gestión ambiental empresarial, cuyo propósito de enseñanza es que el estudiante conozca y trabaje los procedimientos para llegar a la medición de los parámetros, después de la obtención realice el informe de laboratorio correspondiente, similar a como lo haría en un laboratorio tradicional. Los dos procesos fueron diferentes y complementarios porque ubican al estudiante en situaciones de aprendizaje diferentes con propósitos diferentes.

Palabra clave: Calidad del agua, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, tratamiento, régimen sancionatorio, Gestión ambiental empresarial, potabilización del agua, saneamiento básico, contaminación hídrica, vertimientos.

Introducción

Los laboratorios virtuales son una estrategia educativa que permite emular comportamientos reales desde un software, por medio de una representación de un laboratorio físico o un proceso real que se va a intervenir desde una acción pedagógica (Trujillo Flórez y Velandia, 2018). Con este tipo de herramientas se estructura el proyecto de laboratorio de calidad ambiental que pretende acompañar diversos módulos del programa en Tecnología en Gestión Ambiental en la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano (IUPG).

El laboratorio de calidad ambiental es un macroproyecto que se descompone en tres ejes fundamentales: 1. Calidad del agua, 2. Calidad del suelo y 3. Calidad del aire; a su vez, cada eje se descompone en dos herramientas que no sólo abordan la práctica desde lo procedimental sino desde la casuística, con el fin de intervenir situaciones reales donde el estudiante pueda resolver y operar sus conocimientos desde organizaciones reales. Este capítulo se centra en los laboratorios realizados en la calidad del agua, aborda la parte procedimental y de medidas de parámetros en el laboratorio de gestión ambiental empresarial y la parte casuística en el laboratorio de derecho ambiental.

El proceso requirió un diseño pedagógico estructurado para generar en el estudiante una alta interacción que lo comprometa con su proceso de aprendizaje; también el conocimiento de los procedimientos para la medición de los parámetros; asimismo, la posibilidad de tomar sus decisiones y proponer acciones de solución ante las problemáticas determinadas. Tanto la elaboración de los casos como el levantamiento de los procesos demandó de los autores -además de la indagación- trasladar la situación de aprendizaje a una narrativa audiovisual propia de los medios virtuales, que fuera acorde con la secuencia didáctica y los resultados de aprendizaje que se pretenden lograr en los estudiantes, convirtiéndose en una experiencia de innovación educativa de alto impacto en los futuros tecnólogos ambientales.

Marco teórico

Problemática que atiende

Durante el desarrollo de los módulos de Derecho Ambiental y Gestión Ambiental Empresarial fue posible reconocer que los estudiantes mostraban cierto desconocimiento y desinterés con los términos técnicos relacionados en la normativa ambiental y las medidas de manejo ambiental que se pueden aplicar para mejorar y subsanar las problemáticas relacionadas con aspectos ambientales como el consumo de agua y la generación de vertimientos, necesario para la adecuada gestión ambiental de las organizaciones.

Esta situación generó la necesidad de articular el aprendizaje teórico con elementos prácticos que permitieran a los estudiantes entrar en situación, o relacionar lo aprendido con el contexto empresarial donde van a desenvolverse, más para un programa con un alto contenido de trabajo de campo. Con este diseño del programa de tecnología en gestión ambiental modalidad virtual, se presenta la oportunidad de implementar experiencias virtuales interactivas que permitieran la apropiación de la terminología técnica requerida, buscando desarrollar en los estudiantes su capacidad de análisis y el planteamiento adecuado de acciones para la mejora del desempeño ambiental en las organizaciones, soportado en la normatividad ambiental vigente.

En este sentido, la creación de un laboratorio virtual tiene múltiples ventajas para el estudiante en escenarios de alta disposición tecnológica, ya que se sustenta en simuladores o laboratorios virtuales que se ejecutan en computadora y dan una aproximación a la vivencia práctica que debe tener un gestor ambiental. También desde una configuración y operación sencilla de la herramienta digital el estudiante puede sentirse en contexto y confrontar sus conocimientos.

Esto permite a los estudiantes interactuar con equipos, reactivos y procedimientos equiparables a los desarrollados en los entornos laborales y enfrenta al estudiante con “circunstancias” de la vida real aplicadas a estos módulos, a través del análisis, el pensamiento crítico y el trabajo colaborativo.

Antecedentes

Dentro de los estudios realizados sobre el tema de laboratorios virtuales para calidad del agua, destaca Espinoza en 2005, quien desarrolló una aplicación web simuladora de las prácticas de análisis de calidad del agua realizadas en el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria de la Universidad del Cauca, mediante el desarrollo de un software que contiene las fórmulas, procedimientos, materiales y cantidades de los diversos análisis de calidad del agua a desarrollar, y se entrega al usuario de la aplicación un reporte o resumen completo del análisis realizado; esto se desarrolla para los parámetros fisicoquímicos Acidez, Alcalinidad Total, Cloruros, DBO, DQO, Dureza Total, Hierro, Manganeseo y Sulfatos. Dichos análisis son realizados en el laboratorio como un servicio al público en general y son utilizados por los docentes como material de aprendizaje para los estudiantes de los programas de Ingeniería Ambiental y Civil.

Asimismo, se destaca una tesis realizada por Tumbarell (2009) donde se diseña un laboratorio virtual que permite calcular la dureza de muestras de diferentes tipos de agua, y se simula el procedimiento que será realizado por cada estudiante donde selecciona los instrumentos, cantidad de reactivos para la determinación del parámetro; al finalizar, el docente puede revisar el historial que deja cada usuario en particular durante la realización de la práctica del laboratorio y la resolución del cuestionario planteado, con el objetivo de comprobar los conocimientos adquiridos por el usuario.

En relación con los laboratorios virtuales para la asignatura de Derecho Ambiental no se encontraron prácticas similares, lo más cercano es una aplicación informática en la asignatura de Derecho Ambiental de la carrera de Derecho en la Universidad de Sancti Spíritus en Cuba (Cruz, 2010), donde se elaboró una multimedia que incluye instrumentos legales, video y un grupo de actividades que funcionan de manera interactiva, posibilitando la ejercitación de los contenidos, conllevando la utilización del método analítico-sintético, así como otros del nivel teórico, estadístico y matemático. La propuesta fue sometida a validación por el criterio de expertos de la facultad, donde se concluye la pertinencia y factibilidad de la multimedia para perfeccionar el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Virtualplant (<https://www.virtualplant.co/complejos/ambiental>) presenta un laboratorio de aguas para la medición de parámetros ambientales donde se hacen pruebas de Coagulación, Floculación y el Test de Jarras. Sin embargo, no cubre las prácticas de los otros parámetros que se incluyen en este laboratorio como color, turbiedad, sólidos totales, sedimentables y suspendidos, DBO5, DQO. De igual manera, el proyecto aquí realizado no incluye el diseño de una PTAR que el laboratorio de virtual plant si lo realiza. Tanto los procedimientos como las interacciones de realidad virtual en 3D difieren, generando dos proyectos completamente diferentes.

Estrategia de enseñanza

Un laboratorio para la calidad del agua a nivel virtual es un reto grande a la hora de plantear un diseño pedagógico-didáctico debido a la gran cantidad de parámetros que se encuentran en las diferentes mediciones, esto porque en campo o in-situ se toman las muestras se hacen los procedimientos, pero a nivel virtual deben recrearse cada uno de los procedimientos del laboratorio, lo que implica presentarlos de una manera que no sea algo sólo consultivo para el estudiante sino que implique su interacción con el laboratorio virtual. Además, la variedad de parámetros da para crear una infinidad de prácticas que pueden ser enfocadas a profesionales de diferentes áreas de estudio como la química y la biología.

Por lo tanto, es importante pensar desde los resultados de aprendizaje que se esperan del estudiante, ese fue el punto de partida para el diseño de este proyecto, el perfil profesional del tecnólogo en gestión ambiental toma las muestras in situ, realiza las mediciones básicas y las lleva a un laboratorio acreditado por el IDEAM o la ONAC. De allí recibe los resultados y debe analizarlos para establecer el estado en que se encuentra el agua; desde ese punto, realizar sus recomendaciones u observaciones ya sea a la empresa, la comunidad o entidades gubernamentales como autoridades regionales ambientales.

Por consiguiente, el primer paso del diseño fue establecer cuáles eran los parámetros más empleados en la calidad del agua y desde allí planear las diferentes prácticas. Por la distribución de los módulos en ocho semanas se planearon seis prácticas por módulo.

Como el proceso para el laboratorio virtual de derecho ambiental era tan diferente al de gestión ambiental empresarial, se trabajó para cada uno diferentes estrategias didácticas. Mientras que para derecho ambiental el propósito fundamental era comparar los resultados de los parámetros con la normatividad legal vigente con el fin de verificar si se está incumpliendo con los máximos permisibles de la ley, para gestión ambiental empresarial el propósito era hacer las tomas y obtener los resultados de laboratorio con el fin de analizar la calidad del agua tanto en la PTAR, como en las empresas; de allí el estudiante debe realizar un diagnóstico del estado del agua de esa empresa, si cumple o si se excede en los parámetros. En ambos casos el estudiante debe justificar sus afirmaciones y proponer acciones que se puedan implementar para mejorar la calidad del agua y la problemática presentada.

Los dos laboratorios se trabajaron desde el aprendizaje situado; López, Álzate, Llano y Domínguez (2020) plantean que el aprendizaje situado resalta aspectos contextuales, ambientales y prácticos del aprendizaje, convirtiéndose en un proceso activo y no en algo abstracto que el estudiante no comprende, por el contrario, entrar en situación les permite aprender desde su experiencia, otorgándole significados más auténticos, aumentando su motivación, compromiso, autonomía, pensamiento crítico y creativo.

Para la cátedra de derecho ambiental se trabajó con la metodología de casos, según Parra Pineda (2003) el método de casos describe una situación de aprendizaje basada en un problema similar de la vida real, donde los estudiantes deben buscar soluciones acertadas a partir del análisis. Para ello se adaptaron problemáticas presentes en conflictos ambientales, con un componente narrativo que enmarca el caso y una información con los resultados posibles que se obtienen en un laboratorio cuando se solicita este tipo de exámenes sobre la calidad del agua.

El diseño se planeó para que el estudiante realice un análisis de los resultados que provee el software, a partir de dicho análisis tome decisiones y proponga soluciones. En cada caso se ilustra una situación que debe ser valorada por los estudiantes y proponer una solución con el análisis de los informes de laboratorio de las muestras que se obtuvieron in situ.

Para lograr un caso personalizado se creó una programación que genera los resultados, esto hace que el análisis sea variado dependiendo de las

condiciones que se entregan, el estudiante debe comparar los resultados con la normatividad vigente y revisar si se cumple la ley, de ser así, proponer las acciones de mejora, si no se cumple con la normativa debe revisar cuáles parámetros están altos y representan un peligro a futuro para la comunidad, entonces proponer acciones de mejora que pueden implementarse para reducir los impactos ambientales.

La estrategia educativa se planteó de manera colaborativa para que los estudiantes intercambien criterios, ideas, tomen decisiones de manera conjunta y propongan la resolución del caso.

De esa manera, se establecieron los 6 casos para derecho ambiental.

1. Contaminación en cuerpos de agua por lixiviados: se refiere a un caso donde las basuras están contaminando el agua de los ríos en un municipio.

2. Contaminación marina: se refiere al derrame de un insecticida en una bahía.

3. Contaminación en cuerpos de agua por actividad industrial: es una industria de minería de carbón a cielo abierto.

4. Contaminación en cuerpos de agua por actividades agrícolas: es la contaminación de una ciénaga por cultivos de palma y banano, ganadería de búfalos y el cultivo de arroz, donde se utilizan insumos químicos para la cosecha.

5. Contaminación por ausencia de alcantarillado: se refiere al caso de una quebrada debido a los vertimientos de dos marraneras que no tiene planta de tratamiento ni alcantarillado para verter el agua.

6. Potabilización de agua: se refiere a un islote en el cual van a construir complejos turísticos y no hay sistema de agua potable.

Por su parte, para gestión ambiental empresarial se hicieron 6 laboratorios, pero el diseño se hizo desde el aprendizaje procedimental; de acuerdo con Díaz Barriga y Rojas (1999) este aprendizaje se centra en el saber hacer y se refiere a la ejecución de procedimientos, estrategias, técnicas, habilidades, destrezas. Para el caso del laboratorio de calidad de agua se hizo a través de animaciones

3D en realidad virtual, donde se aplicaron diferentes métodos para la medición de los parámetros más representativos que permiten determinar en qué estado se encuentra el agua.

En cada práctica el estudiante selecciona los objetos del laboratorio y se hace una recreación de los procedimientos, definidos por Coll y Valls (1992) como un conjunto de acciones secuenciales cuyo propósito es la consecución de una meta determinada. Para este laboratorio se tuvo en cuenta el uso correcto de algún instrumento de laboratorio y la medición apropiada de un parámetro para la calidad del agua a través de un procedimiento que se explica en el modelo de simulación. Las prácticas gestión ambiental empresarial son:

1. Reconocimiento del laboratorio, instrumentos y unidades de medida: se planteó como una práctica de introducción donde el estudiante recibe la explicación de los materiales, instrumentos y equipos del laboratorio que van a emplear en las siguientes prácticas, luego realiza una serie de actividades y responde diferentes preguntas sobre lo visto en la práctica. El proceso es autocalificado por el software.

2. Medición de parámetros *In situ*: para la práctica se miden los siguientes parámetros: pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno disuelto. Para ello se recrea por medio de realidad virtual una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) donde se puede ir a 3 puntos (aguas arriba, aguas abajo y la salida de la PTAR), allí el estudiante realiza las mediciones con los diferentes instrumentos y las anota para realizar su posterior informe.

3. Medición de parámetros fisicoquímicos básicos parte 1: para estos laboratorios se hicieron 10 empresas diferentes, una de ellas es asignada al azar por el software, el estudiante tiene una pequeña presentación de la empresa, luego ingresa a un laboratorio recreado en 3D donde selecciona los diferentes instrumentos para seguir el procedimiento para hacer las mediciones de los siguientes parámetros: color, turbiedad, sólidos totales, sedimentables y suspendidos, DBO5, DQO, Dureza y una muestra en blanco de calibración (calibración).

4. Medición de parámetros fisicoquímicos básicos parte 2: El funcionamiento es igual que la parte 1, sólo cambian los procedimientos para medir los parámetros de grasas y aceites, hierros y alcalinidad.

5. Medición de parámetros microbiológicos: el funcionamiento es similar a los parámetros fisicoquímicos, es decir, se dejan los instrumentos y se recrea todo el procedimiento para la obtención de las medidas de los parámetros, lo que sucede es que son procedimientos completamente diferentes. Los parámetros son: coliformes totales, coliformes fecales y Ecolli.

6. Test de jarras: permite determinar la concentración de coagulante a utilizar con el fin de remover los sólidos y turbiedad del agua, para así comenzar a tratarla.

En todas las prácticas el estudiante descarga los resultados del laboratorio y con la guía metodológica realiza los informes, que se hacen cada dos prácticas, para un total de 3 entregas que deben ser retroalimentadas por los tutores o docentes.

Modelo para la simulación

A continuación, se explica para la asignatura de Derecho Ambiental cómo se realizaron los casos y qué sentencias o resoluciones se tuvieron en cuenta para su construcción, asimismo se relacionan las normativas que regulan los diferentes casos.

Tabla 1. Modelo de simulación para las prácticas de derecho ambiental

Práctica	Modelo
1. Contaminación en cuerpos de agua por lixiviados	El modelo se estructuró tomando como referencia la sentencia de la corte Constitucional T-453 de 1998 relacionada con el botadero a cielo abierto del municipio de Ricaurte y la Resolución 631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.
2. Contaminación Marina	El modelo se estructuró tomando como referencia la sentencia de la corte Constitucional T-080 de 2015 relacionada con el suceso de contaminación de la Bahía de Cartagena debido a un derrame de un compuesto químico denominado "Lorsban" proveniente de una empresa ubicada en el sector de Mamonal y la Resolución 883 de 2018, por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas y se dictan otras disposiciones.

Práctica	Modelo
3. Contaminación en cuerpos de agua por actividad industrial.	El estudio de caso se basó en las actividades mineras de explotación de carbón en el departamento del Cesar, las cuales han generado vertimientos de agua residual afectando a las comunidades de la Jagua de Ibirico, Calenturitas y el desaparecido Plan Bonito, el Decreto 3930 de 2010 y la Resolución 631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.
4. Contaminación en cuerpos de agua por actividades agrícolas.	El modelo se estructuró tomando como referencia la sentencia de la corte Constitucional T-596 de 2017 relacionada con la contaminación de la Ciénaga Grande de Santa Marta, el Decreto 3930 de 2010 y la Resolución 631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.
5. Contaminación por ausencia de alcantarillado	El estudio de caso se fundamentó en los conflictos ambientales relacionados con las marraneras ubicadas en la Vega Cundinamarca, que han ocasionado constante contaminación del aire y los recursos hídricos de las veredas así como enfermedades a las comunidades aledañas, debido a la ausencia de alcantarillado y un mal manejo de las aguas residuales que llegan a las quebradas, y la Resolución 631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y la Ley No. 1333 de 2009, por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.
6. Potabilización de agua	El caso se estructuró con base en los hechos relatados en la Sentencia T-012 de 2019 relacionados con la comunidad de Bocachica, ubicada al sur de la isla de Tierra Bomba, y a menos de 1.5 kilómetros de distancia de la ciudad de Cartagena, las cuales no cuentan con acceso a los servicios domiciliarios de acueducto y alcantarillado, la Resolución 631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, Decreto No. 1575 de 2007, por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 09 de mayo de 2007 y la Resolución 0844 de 2018 por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora, para la asignatura de Gestión Ambiental Empresarial se explica de dónde se obtuvieron los procedimientos para la obtención de cada uno de los parámetros que se miden en cada una de las prácticas de laboratorio.

Tabla 2. Modelo de simulación para las prácticas de gestión ambiental empresarial

Práctica	Modelo
1. Reconocimiento del laboratorio, instrumentos y unidades de medida	<i>El desarrollo de la práctica se basó en el Manual de técnicas de Laboratorio Químico (Osorio, 2009) en el cual se establecen los lineamientos para el reconocimiento de elementos de laboratorio, así como su identificación y uso. Por otro lado, también se hace énfasis en el reconocimiento de los instrumentos de laboratorio y su utilidad de acuerdo con el tipo de práctica y parámetro.</i>
2. Medición de parámetros In situ	<i>Esta práctica se planteó para emular la toma de muestras en una planta de tratamiento de aguas residuales. Para ello, se tomó como guía el Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales del IDEAM, el cual describe los lineamientos, instrucciones y cuidados que se deben tener en cuenta para la toma de muestras de aguas residuales industriales para análisis en el laboratorio. Esta práctica aplica para muestreo de aguas residuales provenientes de vertimientos industriales, plantas de tratamiento, alcantarillados, entre otras; como parte de la prestación de servicios y demás actividades en general.</i>
3. Medición de parámetros fisicoquímicos básicos parte 1	<i>Para la comprensión de los contenidos de las prácticas que dan cuenta para la medición de parámetros químicos como sólidos suspendidos, alcalinidad y dureza, se tomó como lineamiento el Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas de acuerdo con Severiche, el cual describe de manera clara y sistemática, la determinación en laboratorio de los parámetros anteriormente mencionados. Para el caso de la determinación de DBO y DQO, la práctica se basó en la guía para prácticas de análisis fisicoquímicos de laboratorio para control de procesos. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM.</i>
4. Medición de parámetros fisicoquímicos básicos parte 2	<i>En relación con esta práctica, se tomó como base lo contenido en Severiche-Sierra, en lo particular con los métodos fisicoquímicos relacionados con alcalinidad. Para el caso de grasas y aceites se basó la estructura en la guía de la Comisión Nacional del Agua de México, así como determinación de hierro por el fenantrolina la cual se estructuró de acuerdo con la metodología de la Association of Official Analytical Chemistry (AOAC).</i>
5. Medición de parámetros microbiológicos	<i>La estructura de la práctica se realizó con los lineamientos de la Guía Determinación de Coliformes totales y E. Coli de aguas mediante la técnica de sustrato definido, colilert por el método de Numero Más Probable del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM.</i>
6. Test de jarras	<i>Para la elaboración del ensayo de jarras, se tomó como referencia estructural el documento llamado Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales de la ECAPMA (papel de trabajo), el cual permite evidenciar el rigor de la práctica para determinar la concentración de coagulantes necesario para el tratamiento de aguas residuales.</i>

Fuente: Elaboración propia.

Para este laboratorio se seleccionaron 10 empresas de sectores reales con parámetros y mediciones reales; las empresas seleccionadas son: 1. Curtiembre, 2. Textiles, 3. Minería de carbón (lignito), 4. Petroquímica, 5. Alimentos, 6. Productos lácteos, 7. Alimento para animales, 8. Termoeléctrica, 9. Industria farmacéutica, 10. Elaboración de productos de aseo.

Para cada empresa se establecieron los siguientes parámetros de medición: pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Cloro residual, Color, Turbiedad, Sólidos suspendidos Totales (SST), Sólidos sedimentables (SSED), DBO5, DQO, Grasas y aceites, Hierro, Dureza, Volumen de EDTA agregado, Alcalinidad - Volumen gastado H₂SO₄, Número de tubos de ensayo positivos para coliformes totales, Número de tubos de ensayo positivos para coliformes totales en caldo de bilis verde, Número de tubos de ensayo positivos para coliformes fecales, Coliforme totales, Coliformes fecales y E. Colli, Turbiedad (Medida Turbidímetro); lo que permite que cada empresa se pueda analizar por separado de las otras, creando así 10 prácticas al interior del laboratorio con 20 rangos, es decir, 200 escenarios diferentes de simulación y sólo uno se distribuye al estudiante, significa que es una herramienta apropiada para el aprendizaje adaptativo.

Desarrollo de la experiencia de aprendizaje

Cómo ya se mencionó en el diseño pedagógico, los laboratorios se plantearon desde 6 prácticas para cada uno de los laboratorios, por consiguiente, el desarrollo de la experiencia de aprendizaje fue bien diferente.

Para Derecho ambiental se construyeron los casos, luego se guionizaron, es decir, se recreó un personaje o avatar 3D de la comunidad que presenta la situación; además, se elaboró un espacio de programación con unos rangos teniendo en cuenta los límites máximos permisibles de acuerdo con la regulación; esto hace que los resultados que encuentran los estudiantes de los laboratorios cambien de manera significativa, lo que afecta el análisis de cada uno de los grupos. También se diseñó un espacio de descarga donde el estudiante puede descargar en un formato el caso, que también queda en el escenario del tutor. Cuando hace la descarga se procede a una serie de espacios con preguntas sobre el caso que el estudiante debe diligenciar y al final obtiene un documento de descarga con sus respuestas.

Para Gestión ambiental empresarial se construyeron los ambientes en 3D tanto para la PTAR como para el laboratorio que puedan recorrerse por el estudiante, también se crearon los personajes o gerentes para las 10 empresas y se hicieron los guiones y animaciones para cada gerente; luego se hicieron modelos de los instrumentos para cada proyecto y las animaciones de cada punto del procedimiento para hacer la medición; se dejó una zona de resultados que los estudiantes pueden descargar y así elaborar sus informes.

Se elaboró un render para cada una de las diez empresas en 3D; por razones de peso al ser un laboratorio online no hay un recorrido por parte del usuario, hay una visualización. De igual manera, se hicieron los escenarios de programación para cada empresa en los más de 20 parámetros que se establecieron para cada empresa.

Para los dos softwares, con las animaciones 3D terminadas se inició la construcción de los mockups y de las interfaces, así como los elementos gráficos de navegación. Las animaciones en 3D se hicieron en el software maya y se integraron en Unity que fue el lenguaje de desarrollo.

Después se integró con las bases de datos para extraer la información de cada empresa según el caso asignado al estudiante, lo mismo a la API y a la herramienta Peibox que es un software caja que alberga todos los proyectos elaborados en la IUPG.

Finalizado el desarrollo, se implementaron las pruebas de validación y usabilidad para los dos laboratorios, se hicieron los pilotos con los tutores y los estudiantes, así como los ajustes de la versión alfa hasta obtener la beta.

Resultados obtenidos

Como resultado de las actividades realizadas, se desarrollaron dos laboratorios virtuales de calidad del agua con diferentes énfasis, uno orientado a la asignatura de Derecho Ambiental con la metodología de casos, donde los estudiantes, a partir de una situación de aprendizaje basada en un problema de la vida real soportado mediante informes de laboratorio de calidad del agua, deben buscar soluciones técnicas y jurídicas a partir de los análisis realizados; y un segundo laboratorio orientado a la asignatura de Gestión

Ambiental Empresarial diseñado mediante el aprendizaje procedimental en un laboratorio virtual de calidad del agua, donde los estudiantes deben ejecutar procedimientos, estrategias, técnicas, habilidades y destrezas para determinar -de acuerdo con el tipo de empresa- los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos más relevantes en la calidad del agua.

Los laboratorios se visualizaron de modo que el estudiante experimente mediante procedimientos, estudios de caso y análisis de las prácticas, situaciones que podrían suceder en su ejercicio profesional; así mismo, que se familiarice con la terminología y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua que se relacionan en la normativa y que son importantes a la hora de proponer soluciones, tanto para vertimientos como para concesiones de agua.

Frente a las dificultades, el detalle requerido para hacer cada practica necesitó para algunos parámetros fisicoquímicos de calidad del agua mayor tiempo en establecer cuál era la metodología más apropiada y práctica para el estudiante, aprovechando que en un escenario virtual era más fácil desarrollar las actividades sin restricciones frente a equipos, herramientas y reactivos que se necesitaran.

Por otra parte, se espera, que el uso de estos laboratorios virtuales sea una experiencia agradable y significativa para el estudiante, que le permita comprender y profundizar a través del desarrollo de las diferentes prácticas las temáticas de las asignaturas de Derecho Ambiental y Gestión Ambiental Empresarial, que de seguro les aportará en su ámbito laboral.

Conclusiones

En la actualidad, y frente a las dinámicas presentes en la educación virtual, los laboratorios virtuales son una herramienta que ha venido potencializando la formación en el estudiante no solo encaminada a una exploración experimental (las prácticas de laboratorio así lo permiten) sino que, a partir de ello, el mismo estudiante puede generar soluciones de casos previamente concebidos que le permitan mejorar los controles operacionales en una empresa, industria, comunidad o donde el escenario así lo requiera.

El uso de los laboratorios virtuales permite crear nuevos espacios pedagógicos interactivos, donde se suscita la colaboración participativa y activa con los contenidos de cada práctica, mejorando la construcción del conocimiento, así como la adquisición de los contenidos. Todo esto sucede de manera autosuficiente, motivo por el cual se enriquece el aprendizaje y habitúa al estudiante a generar mayores acciones que puedan dar solución a problemas preestablecidos.

Por otra parte, para el análisis de los casos diseñados, así como para cada una de las prácticas de laboratorio de calidad del agua, el estudiante debe estudiar los conceptos teóricos que luego le permitirán entender la lógica de cada una de las simulaciones y su aplicación en la vida real, que pueden ser fácilmente comparados con la realidad del futuro tecnólogo en gestión ambiental.

El papel de las TIC juega un rol importante en la dinámica de los laboratorios virtuales. Para los casos de prácticas en Derecho Ambiental, crear un escenario con una problemática y que el estudiante basado en su análisis establezca una relación con la normatividad y su aplicación, tiene un alto impacto en la generación de conocimiento para lo que en la realidad va a encontrar, puesto que, en gran medida, los controles operacionales están regulados con la legislación. Entre tanto, las prácticas para determinar el comportamiento de parámetros de calidad del agua, tal como se describen en el laboratorio de Gestión Ambiental Empresarial, son de gran impacto precisamente para determinar las acciones que permitan mejorar el comportamiento de los efectos ambientales y con ello fortalecer el desempeño ambiental en el escenario empresarial, industrial y comunitario. Con el análisis de estos parámetros, se determinan las mejores técnicas para mejorar la calidad del agua y que esta misma sea apta para todos los procesos para los cuales es necesaria.

Los laboratorios virtuales desarrollados fomentan el trabajo en equipo, y si bien permiten que primero el estudiante trabaje de manera individual, posteriormente al reunirse con su grupo de trabajo pueden compartir de mejor modo las experiencias, puntos de vista y posibles soluciones, y en definitiva “aprender haciendo”, siendo este el propósito de la herramienta. En suma, se espera que los resultados de estos laboratorios sean positivos y que los tutores puedan seguir de cerca la responsabilidad en el trabajo grupal, así como el desarrollo de las habilidades comunicativas y escritas en torno al objetivo de cada asignatura.

Referencias bibliográficas

- Coll, C. & Valls, E. (1992). *El aprendizaje y la enseñanza de los procedimientos*. En C. Coll, J. I. Pozo, B. Sarabia & E. Valls, Los contenidos en la reforma (pp. 81-132). Madrid: Santillana.
- Cruz, Y. (2010). *Multimedia para la aplicación informática en la asignatura Derecho Ambiental de la carrera Derecho en Sancti Spiritus*. [Tesis Maestría]. Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez.
- Decreto No. 3930 de 2010*. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por el cual se reglamenta parcialmente el *Título I de la ley 9 de 1979*, así como el *Capítulo II del Título VI-Parte III-Libro II del Decreto Ley 2811 de 1974*, en cuanto al uso del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. 25 de octubre de 2010. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf
- Decreto No. 1575 de 2007*. [Presidente de la República De Colombia]. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 09 de mayo de 2007. Disponible en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=30007>
- Díaz Barriga, F. Y Rojas, G. (1999). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. Ed. Mc Graw Hill, 2ª. Edición.
- Espinoza, J. (2005). *Aplicación web simuladora de las prácticas de los análisis de calidad del agua realizadas en el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad del cauca*. (Tesis). Facultad de Ingeniería, Universidad de Manizales.
- Ley No. 1333 de 2009*. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. Julio 21 de 2009. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36879>
- López Ocampo, N., Álzate López, L., Llano, M., y Domínguez Rojas, A. (2020). *Práctica pedagógica y motivación desde el aprendizaje situado*. Tesis Psicológica, 16(1), 1-29. <https://doi.org/10.37511/tesis.v16n1a9>
- Osorio Giraldo, R. (2009) *Manual de técnicas de laboratorio químico*. Editorial Universidad de Antioquia, 3-9.
- Parra Pineda, D. M. (2003) *Manual de Estrategias de Enseñanza/Aprendizaje*, SENA, Medellín.
- Resolución No. 631 de 2015*. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. 17 de marzo de 2015. Disponible en: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_0631_2015.htm
- Resolución No. 883 de 2018*. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas y se dictan otras

disposiciones. 18 de mayo de 2018. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/18-res%20883%20de%202018.pdf>

Resolución 0844 de 2018. [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio]. Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del título 7, de la parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0844-2018.pdf>

Corte Constitucional de Colombia [31 de agosto de 1998]. Sentencia T-453 de 1998. [MP Alejandro Martínez Caballero].

Corte Constitucional de Colombia [20 de febrero de 2015]. Sentencia T-080 de 2015. [MP Jorge Iván Palacio].

Corte Constitucional de Colombia [25 de septiembre de 2015]. Sentencia T-596 de 2017. [MP Alejandro Linares Cantillo].

Corte Constitucional de Colombia [22 de enero de 2019]. Sentencia T-012 de 2019. [MP Cristina Pardo Schlesinger].

Tumbarell, R. (2009). *Diseño Teórico del Laboratorio Virtual "Determinación de la Dureza del Agua"*. (Tesis). Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Facultad de Química, Santa Clara, Cuba (2009).

Trujillo Flórez, L. M. y Velandia G. K. (2018). *Proyecto de un Laboratorio de Riesgos Laborales para la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano*. En Trujillo Flórez, L. M. *Experiencias de innovación educativa tomo 2*. Editorial Politécnico.

