

# Plataforma Web para Colecciones Biológicas: Caso Herbario Universidad del Quindío

## Web Platform for Biological Collections: Case Herbarium University of the Quindío

Cristian Giovanni Castrillón-Arias<sup>1</sup>, Carlos Alberto Agudelo-Henao<sup>2</sup>, Omar Antonio Vega<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Sistemas e Informática, Universidad de Caldas; Manizales, Colombia*

<sup>2</sup>*Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías, Universidad del Quindío; Armenia, Colombia*

<sup>3</sup>*Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales; Facultad de Ingenierías, Universidad de Caldas; Manizales, Colombia*

*crislian.castrillon@ucaldas.edu.co*

*cagudelo@uniquindio.edu.co*

*oavega@umanizales.edu.co, omar.vega@ucaldas.edu.co*

**Resumen**— La incorporación de las TIC ha transformado las diversas áreas de la sociedad. En el caso de las colecciones biológicas, están facilitando -mediante la digitalización de sus ejemplares- procesos de obtención de información, contrastación de datos, conservación de especímenes, intercambio entre expertos, difusión a la comunidad, investigación y modelamiento, que fortalecen sus funciones tradicionales. Por ello, en este artículo se presenta el caso de la plataforma web para el Herbario Universidad del Quindío (HUQ), conformada por los sistemas administrativo, de información y museo virtual, la cual se creó utilizando la metodología de desarrollo ágil Iconix y aspectos de ludificación/gamificación.

**Palabras clave**— Colección biológica, Herbario Universidad del Quindío (HUQ), Museo virtual, Plataforma web.

**Abstract**— Summary- The incorporation of ICT has transformed the different areas of society. In the case of biological collections, they are facilitating - through the digitalization of their specimens - processes of obtaining information, testing data, conservation of specimens, exchange among experts, dissemination to the community, research and modeling, which strengthen their traditional functions. Therefore, this article presents the case of the web platform for the University of Quindío Herbarium (HUQ), made up of the administrative, information and virtual museum systems, which was created using the Iconix agile development methodology and gamification aspects.

**Key Word** — Biological collection, University of Quindío Herbarium (HUQ), Virtual museum, Web platform,

### I. INTRODUCCIÓN

El interés científico por identificar recursos de flora y fauna en diferentes regiones, ha llevado a la realización de expediciones, el diseño de técnicas de recolección y clasificación de ejemplares, así como la creación de colecciones biológicas, debidamente documentadas, con múltiples alcances en el campo científico.

El desarrollo tecnológico actual y las diversas herramientas y dispositivos han abierto nuevas perspectivas en la construcción colectiva de nuevo conocimiento, la transferencia e intercambio de información, la recolección de datos en campo, la modelación y simulación de procesos, etc.; fomentando la apropiación social de la ciencia.

En el caso de las colecciones biológicas, la incorporación de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) permite la digitalización de los delicados ejemplares para asegurar su conservación, así mismo el ingreso de información desde el lugar de recolección y la visita virtual por parte de diferentes usuarios lo que permite la cobertura real de la acción de las colecciones.

Considerando tal tendencia y la necesidad sentida del Herbario Universidad del Quindío (HUQ), del Centro de

Estudios de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología de la Universidad del Quindío<sup>1</sup>, por implementar estrategias tecnológicas que mejoren los procesos de su colección, gestión y difusión, este artículo presenta el desarrollo informático orientado a su virtualización.

## II. COLECCIONES BIOLÓGICAS

Según señalan Trujillo *et al.* [2], las primeras colecciones de plantas para su estudio se remontan al siglo XVI con los Jardines Botánicos (*hortus botanicus*), que permiten estudiar las plantas vivas de manera directa, especialmente por su utilidad (comestible o medicinal), en tanto los museos de historia natural, surgen en el siglo XVIII como espacio para el almacenamiento, conservación e investigación de especímenes o elementos naturales. En Colombia, se inician a finales del siglo XVIII, consolidándose a mediados del siglo XX con la creación de herbarios y museos regionales y nacionales, apoyados en estudios científicos que proporcionan una primera representación de su diversidad biológica. Además, señalan que las colecciones biológicas pueden clasificarse en: - Colecciones botánicas, que incluyen herbarios (plantas que han sido procesadas y ordenadas)<sup>2</sup>, bancos de germoplasma (recursos genéticos especialmente de plantas silvestres) y jardines botánicos (plantas vivas), y - Colecciones zoológicas, tales como entomológicas (insectos), ictiológicas (peces), herpetológicas (anfibios y reptiles), ornitológicas (aves) y mastozoológica (mamíferos).

“Los ejemplares de colecciones biológicas regularmente incluyen etiquetas en las que se indica la identidad taxonómica del ejemplar, el determinador del ejemplar, las características morfológicas más sobresalientes de la planta, los caracteres que se pierden al secar, información de la localidad de procedencia, el nombre y número del colector del ejemplar, la altitud, las coordenadas geográficas y la fecha de recolección. Estos datos, al ser capturados en una base de datos, facilitan el trabajo del taxónomo y además permite abordar diversas preguntas sobre la informática de la biodiversidad, en particular sobre la ecología, evolución, conservación, agricultura y epidemiología” [3].

Las colecciones biológicas ofrecen una amplia gama de posibilidades en la investigación científica [3]: - Estudios ecológicos y evolutivos sobre la influencia de factores

bióticos y abióticos en los límites geográficos, - Modelos de nichos climáticos para predecir los rangos de especies e incorporar información filogenética o genética, - Estado de conservación de especies mediante el cálculo de tamaño de rangos de distribución, y - Predicciones de distribución potencial para exploraciones de campo en busca de nuevas poblaciones de especies, estimar la diversidad espacial e identificar áreas para la conservación o predecir los cambios en la distribución de especies como respuesta al cambio climático.

Pero además de las utilidades anteriormente mencionadas, estas colecciones “se están convirtiendo en una institución principalmente cultural, en un espacio vivo y organizado totalmente público, al servicio de la sociedad y entendido como un instrumento de acción educadora donde además de aprender, se disfruta” [4].

Es reconocida la riqueza en biodiversidad colombiana, que la ubica entre los dos países con mayor expresión en ella: “En las plantas con flores hay registros de aproximadamente 26.500 especies, que le sitúan a continuación de Brasil con 28.000. Los valores de riqueza en helechos (1600), musgos (976) y en líquenes (1.700), colocan a nuestro país como el más rico en cada uno de estos grupos en el concierto neotropical” [5].

Considerando tal situación, a pesar de factores que redundan negativamente sobre ella (que van desde la ampliación de la frontera agropecuaria, el incremento del área construida, la explotación minera, hasta actividades ilegales y terroristas), se hace indispensable el fortalecimiento de las colecciones existentes, no solo en cuanto a la ampliación de especímenes, sino también en lo relacionado con la difusión y divulgación de la información, de manera que trasciendan las visitas directas a los museos y la conservación de sus ejemplares<sup>3</sup>.

## III. DIGITALIZACIÓN DE COLECCIONES BIOLÓGICAS

Las colecciones biológicas en general, y los herbarios<sup>4</sup> en particular, sin perder su finalidad de representar de manera

<sup>1</sup> “El origen del Centro de Estudios e Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología de la Universidad del Quindío - CIBUQ, adscrito al Programa de Biología, de la Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías, se remonta al año 1985 cuando se institucionalizó el Herbario HUQ. (...) En el año 2002 se reconoció como Centro de Investigaciones y fue creado administrativamente mediante el Acuerdo del Consejo Superior No. 003 del 24 de abril de 2009” [1]. El crecimiento y dinámica del CIBUQ ha sido constante, lo cual ha llevado a que el Centro involucre en la actualidad tres líneas de investigación, el Herbario con 38.000 ejemplares y apoya la Maestría en Ciencias Biología Vegetal.

<sup>2</sup> Algunas colecciones anexas a los herbarios son: antotecas (flores), carpotecas (frutos y semillas), etnofitotecas (ornamentos de origen vegetal), lianotecas (lianas y bejucos), palinotecas (granos de polen y esporas de helecho), xylootecas (muestras de madera).

<sup>3</sup> En el caso de los herbarios, señalan Gernandt, *et al.* [3], los ejemplares consisten en plantas completas o partes de ellas, que se secan y se montan en un papel, unos pocos se conservan en alcohol, en tanto otros (como frutos y semillas), se disponen en cajas y los granos de polen en portaobjetos, las cuales están organizadas y almacenadas sistemáticamente en gabinetes. Existe “una clase particularmente importante de especímenes en el herbario son los ejemplares tipo, a los que se hace referencia explícita cuando un taxónomo describe y nombra formalmente una especie por primera vez”.

<sup>4</sup> “Un herbario es una colección científica de plantas o partes de ellas desecadas, identificadas y organizadas. Además, es un lugar de consulta para cualquier persona que necesite saber de una planta. La taxonomía vegetal, que es una rama de la investigación en botánica, fundamenta sus estudios en los datos del material depositado en los herbarios. También es útil para estudios florísticos, biogeográficos e incluso moleculares. Las colecciones botánicas de los herbarios representan a la flora, o patrimonio vegetal de una localidad, región o país, siendo la base para planear el desarrollo sostenible y la conservación biológica de cada ecosistema. El material que alberga un

sistémica la biodiversidad en el tiempo y espacio, han evolucionado en sus procesos, técnicas y objetivos. Así, aunque su función principal consistió en el depósito de muestras de plantas de interés etnobotánica procedentes de diversas fuentes (colecciones privadas o expediciones), en la actualidad los herbarios sirvan para otros estudios y propósitos (distribución y conservación de especies e inventarios de biodiversidad), que se propicia con la digitalización de las colecciones [7].

La transferencia de la información analógica a formatos digitales, proceso denominado digitalización, “aumenta la accesibilidad de la información a nivel local y a larga distancia y (...), puede reducir el desgaste de los objetos de valor causado por la manipulación física de ellos, con lo que se conservan mejor” [3], aunque también la digitalización de las colecciones puede repercutir en el avance científico: “El posible manejo de esta información por los profesionales, sin la necesidad de desplazarse al lugar original, ahorra costes y permiten abrir un amplio abanico de posibilidades. Una de las principales dificultades a la hora de digitalizar una colección es el valor económico que involucra. Hay dos premisas principales en estos procesos: Prioridad de conservación del material digitalizado y llevar a los usuarios las herramientas digitales bien desarrolladas con suficiente rigor científico” [8].

En coherencia con lo anterior, varios herbarios han sido sometidos a procesos de digitalización, generalmente acompañados de su divulgación a través de sitios web, como:

- Jardín Botánico de Missouri, fundado en 1859 en San Luis (Missouri, Estados Unidos), con la misión de “descubrir y compartir conocimientos sobre las plantas y su entorno para preservar y enriquecer la vida”, es el jardín botánico en funcionamiento continuo más antiguo de la nación y un reconocido centro de investigación y enseñanza científica de prestigio internacional. Dispone de un sitio web, de permanente actualización aunque no se haga explícita su fecha, donde se muestran eventos, reuniones y colecciones relevantes que poseen, además cuenta con un módulo en el que se programan visitas turísticas con el fin de dar a conocer a la comunidad en general sus más de cinco millones de especímenes. El sistema permite ejecutar consultas específicas sobre la información de las colecciones biológicas, mediante imágenes que llevan al usuario a conocer las características propias de los mismos [9].

- Jardín Botánico de Nueva York, museo vivo icónico desde su fundación en 1891, que opera uno de los programas de investigación y conservación de plantas más grandes del mundo. La digitalización del Herbario Steere comenzó en 1995, con el objetivo de tener la base de datos, la imagen y la georreferencia de los 7,8 millones de especímenes en la colección. Para ello, se ha utilizado el software EMu de Axiell desde 2004, para gestionar el Herbario Virtual, el *Index Herbariorum*<sup>5</sup>, el Banco de ADN, las colecciones

estructurales de Laboratorios Pfizer, y el índice de Literatura Botánica Americana, permitiendo el acceso público a información documental e imágenes de los especímenes botánicos expuestos en el Herbario Virtual [10].

- Herbario Virtual del Mediterráneo Occidental, nace a partir del Herbario Virtual de las Islas Baleares, para recoger plantas vasculares, especialmente autóctonas, de la cuenca del Mediterráneo Occidental, liderada por el área de Botánica de la Universidad de las Islas Baleares, y participación de las Universidades de Barcelona y de Valencia. El herbario se ha estructurado en páginas propias para cada especie, con las imágenes de las plantas y un breve texto informativo sobre la misma, que incluye sus nombres científicos y comunes en catalán y castellano [11].

- Herbario Bouchard, una colección pública de investigación, cuyos pliegos del herbario se han digitalizado y se pueden consultar fácilmente a través del sitio web del CENMA ([www.cenma.ad](http://www.cenma.ad)), así como la colección de fotografías de plantas. Los datos corológicos del herbario también fueron introducidos en el Servidor de Información de la Biodiversidad de Andorra ([www.siba.ad](http://www.siba.ad)), proyecto del CENMA-IEA, con una precisión de 1 Km<sup>2</sup> [12].

- Herbario virtual del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, ofrece la posibilidad de búsquedas por la combinación de tres parámetros entre familia, género, especie, departamento, municipio, nombre vulgar y nombre del colector, arrojando una tabla con los registros encontrados y que permite acceder a la información consultada [13].

- Herbario Nacional Colombiano, cuenta con cerca de 540.000 ejemplares distribuidos en varias colecciones. Además, tiene una versión virtual que permite la búsqueda (rápida o avanzada) de especímenes de 63 familias de dicotiledóneas, 17 monocotiledóneas y 35 criptógamas, mostrando la información detallada (información general del ejemplar, la taxonomía, información geoespacial y atributos), las imágenes del ejemplar del herbario y su ubicación geográfica, utilizando una herramienta de Google [14]. A este herbario, se le incorpora un prototipo de software para recolección de información de especímenes vegetales en campo, con el cual se logra “la reducción de tiempo en la sistematización de datos de las colecciones biológicas que continuamente se están actualizando de los organismos que se recolectan, el estudio de esta información y la existencia de una base de datos biológicos sistematizada” [15].

- Herbario Nacional de México, resguarda la colección de plantas herborizadas más grande de América Latina, correspondiente a la biodiversidad en México y América Central. Aunque se han realizado varios proyectos de digitalización a lo largo de los años, comúnmente por un taxónomo especialista enfocado en alguna familia o género en particular, en 2012 se inició un proyecto de digitalización de cuatro años de duración para las Colecciones Biológicas Nacionales del Instituto de Biología que comprenden el Herbario Nacional y 10 colecciones zoológicas nacionales, con más de 3.6 millones de ejemplares [3].

herbario es debidamente preparado para garantizar su conservación de manera indefinida” [6].

<sup>5</sup> Directorio global de herbarios públicos y el personal asociado.

- Herbario de D. Vicente Latorre y Pérez, el I.E.S. Padre Luis Coloma de Jerez de la Frontera (Cádiz, España), creado entre 1874 y 1892, cuya digitalización se materializa en “una base de datos compuesta por 1057 registros del herbario conformados por: 956 especies, 504 géneros y 117 familias, que se pueden consultar y ver en la página creada (<http://www.bioscripts.net/coloma/>); o en su versión móvil en (<http://www.bioscripts.net/coloma/m/>). También es posible acceder al herbario desde la página web del propio I.E.S. Padre Luis Coloma (<http://www.iescoloma.es/>)”, cuyo contenido se divide en dos partes fundamentales: “La activa conformada por un buscador donde se puede consultar por pliegos, por los tomos o las familias, y la estática que corresponde a la historia del herbario y la biografía de su autor, el proceso de digitalización y una página de contacto” [8].

- Herbario Forestal Gilberto Emilio Mahecha, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, UDBC, tiene como misión la colección, distribución y el incremento del conocimiento que se tiene sobre la flora de Colombia, teniendo como énfasis a las especies arbóreas. Martínez y Sánchez [16], continúan el proceso de georreferenciación de los ejemplares botánicos depositados en el Herbario, para mejorar la información referente a la posición geográfica de colecta de los mismos, donde concluyeron que la georreferenciación retrospectiva es fundamental para conseguirlo.

- vPlants: un herbario virtual de la región de Chicago, proyecto iniciado en 2001 por parte del *Morton Arboretum*, el *Field Museum of Natural History* y el *Chicago Botanic Garden*, para proporcionar datos e imágenes digitales de 80,000 especímenes de plantas de la gran región de Chicago, que se hallan en los herbarios de las instituciones asociadas, además de casi 50,000 imágenes disponibles y aproximadamente 12,000 registros de hongos que se están ingresando. La información de las etiquetas de muestra ingresadas en las tres instituciones se transfiere, utilizando XML, a una única base de datos de búsqueda en la web en el portal vPlants, incluye la apariencia visual, detalles sobre especies similares, datos de hábitat y ecología, etimología de los nombres científicos y fotografías, permitiendo que los usuarios naveguen o busquen por familia, género, especie o nombre común [17].

- Neotropical Herbarium Specimens, cuyo “sitio se está creando para acelerar la identificación general de los especímenes montados de plantas del Neotrópico. Será de mayor utilidad para biólogos profesionales y otros que estén haciendo inventarios de las especies de áreas naturales, ecología y etnobotánica. Será útil para identificar las familias, géneros o especies de plantas en regiones donde guías de campo comprensivas no están disponibles, o donde los manuales dependen del uso de caracteres técnicos de la flor o del fruto que están ausentes en los especímenes voucher<sup>6</sup>. Incluso será útil para los paleobotánicos y otros con interés en morfología comparativa de plantas tropicales (...). Los

especímenes se han seleccionado para escanear de una colección sinóptica de plantas del Neotrópico, conocida como la Colección de Referencia Rápida, siendo desarrollada dentro del Herbario Searle del Field Museum por Robin Foster y colaboradores. Aunque tenemos más de 27,000 especies representadas, esto todavía sigue siendo un proyecto piloto” [18].

- Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia, una iniciativa nacida con el Decreto 1603 de 1994, como parte del proceso de creación del Sistema Nacional Ambiental (SINA), establecido en la Ley 99 de 1993, con la finalidad de ofrecer libre acceso a la información sobre su diversidad biológica. Es liderado por un Comité Directivo y lo conforman el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Universidad Nacional de Colombia y los cinco institutos de investigación del Sistema Nacional Ambiental, SINA (IAVH, Invemar, Sinchi, IIAP e IDEAM) [19].

Además, se han adelantado diversos proyectos donde herramientas de georreferenciación<sup>7</sup>, realidad aumentada<sup>8</sup> y reconocimiento de patrones<sup>9</sup>, son incorporados para facilitar el proceso de recolección e identificación de especímenes, así como la difusión de información botánica.

#### IV. METODOLOGÍA

El proyecto se enmarca en una investigación aplicada, con una etapa de consulta documental orientada a fundamentar sus componentes teóricos, seguida de la etapa de diseño e implementación tecnológica del herbario virtual planteado, enfocada en la gestión, construcción y difusión de información botánica correspondiente.

Para el desarrollo del software se opta por Iconix, “una metodología ágil<sup>10</sup> con un claro proceso simplificado, iterativo e incremental que unifica un conjunto de métodos

<sup>7</sup> Como el proyecto de Martínez y Sánchez [16] orientado a la georreferenciación por localidades de los ejemplares botánicos depositados en el Herbario Forestal (UDBC).

<sup>8</sup> Es el caso de una técnica para presentar contenidos asociados al herbario virtual HUC de la Universidad de Córdoba mediante tecnología *Mobile Tagging* para ampliar el conocimiento del estudiante en las consultas [20].

<sup>9</sup> Por ejemplo, Marín [21] desarrolla una app para iOS en teléfonos iPhone, destinada al reconocimiento de tipos de plantas a partir de comparaciones de imágenes digitalizadas de hojas.

<sup>10</sup> Las metodologías ágiles para el desarrollo de software surgen, experimentalmente a principios de los años 90 aunque el término aparece en 2001, como una alternativa a las metodologías de desarrollo de tradicionales (en cascada, en espiral y Proceso Unificado Racional (RUP, *Rational Unified Process*)) consideradas como muy pesadas, mediante la propuesta de un esquema de construcción basado en iteraciones cortas muy productivas, teniendo a las personas y la colaboración como su principal enfoque, a diferencia de las anteriores que priorizaban la metodología sobre el producto mismo. Entre las metodologías ágiles están *SCRUM*, *Joint Application Development*, *RAD (Rapid Application Development)*, *Adaptive Software Development*, *Metodologías Cristal*, *Dynamic Systems Development Method (DSDM)* y *Extreme Programming (XP)* [22].

Para Navarro *et al.* [23], son metodologías adaptativas, que consideran la gestión de cambios como un aspecto inherente al propio proceso de desarrollo software, permitiendo adaptaciones al entorno, maximizar la inversión y reducir los costos, ya sea para variar parte de su funcionalidad o añadirle otra nueva, o adaptar el sistema a un nuevo dominio de aplicación.

<sup>6</sup> Consiste en una muestra de la planta prensada, seca y etiquetada, montada y almacenada para referencias futuras.

de orientación a objetos con el propósito de abarcar todo el ciclo de vida de un proyecto, está adaptada a los patrones de UML, su proceso dirigido por casos de uso. Posee cuatro fases y cuatro hitos de fácil comprensión y aplicación<sup>11</sup>. Cada paso que se realiza está definido por un requisito, se define la trazabilidad como la capacidad de seguir una relación entre los diferentes artefactos de software producido” [23].

En el proceso de desarrollo se ejecutan las siguientes fases:  
 - Análisis de requerimientos, donde se definen los requerimientos del sistema mediante la recolección de la información y la familiarización de la temática, resultado de varias entrevistas y visitas a diferentes herbarios, información con la cual se realizan los modelos de dominios del sistema (Figura 1).

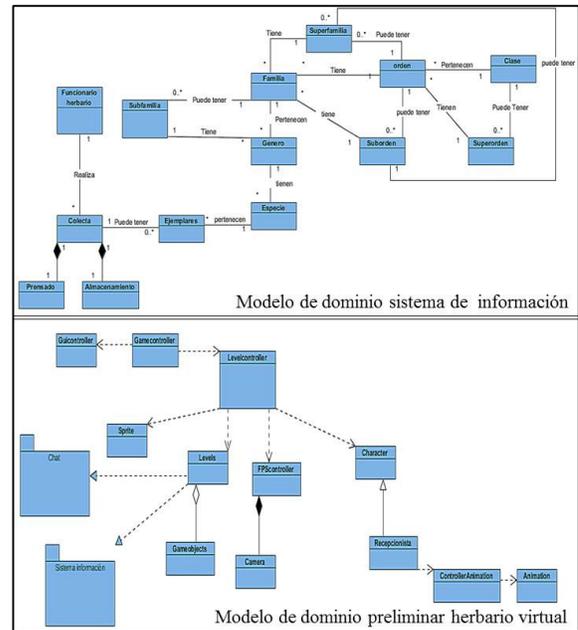


Figura 1. Modelo de dominios del sistema de información y del museo virtual

- Análisis y Diseño Preliminar, a partir de cada caso de uso se obtienen sus correspondientes fichas que se aplican en los módulos del sistema. En las figuras 2 y 3 se muestran casos de uso y diagrama de robustez representativos.

<sup>11</sup> “1. Análisis de Requisitos

a) Identificar en el mundo real los objetos y todas las relaciones de agregación y generalización entre ellos. Utilizar un diagrama de clases de alto nivel definido como modelo de dominio. b) Presentar, si es posible una prototipación rápida de las interfaces del sistema, los diagramas de navegación etc. De forma que los clientes puedan comprender mejor el sistema propuesto. c) Identificar los casos de uso del sistema mostrando los actores involucrados.

2. Análisis y Diseño Preliminar

a) Describir los casos de uso, como un flujo principal de acciones, pudiendo contener los flujos alternativos y los flujos de excepción. b) Realizar un diagrama de robustez, se debe ilustrar gráficamente las interacciones entre los objetos participantes de un caso de uso. c) Actualizar el diagrama de clases ya definido en el modelo de dominio con las nuevas clases y atributos descubiertas en el diagrama de robustez.

3. Diseño

a) Especificar el comportamiento a través del diagrama de secuencia, para cada caso de uso identificar los mensajes entre los diferentes objetos. b) Terminar el modelo estático, adicionando los detalles en el diseño de clases. c) Verificar si el diseño satisface todos los requisitos identificados.

4. Implementación

a) Utilizar el diagrama de componentes, si fuera necesario para apoyar el desarrollo, es decir, mostrar la distribución física de los elementos que componen la estructura del sistema. b) Escribir/Generar el código. c) Realizar pruebas. Test de unidades, de casos de uso, datos y resultados. Test de integración con los usuarios para verificar la aceptación de los resultados” [24].

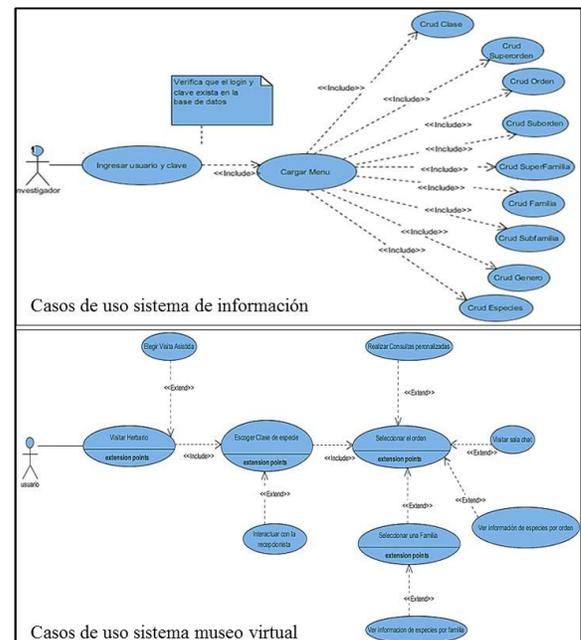


Figura 2. Casos de uso del sistema de información y del museo virtual

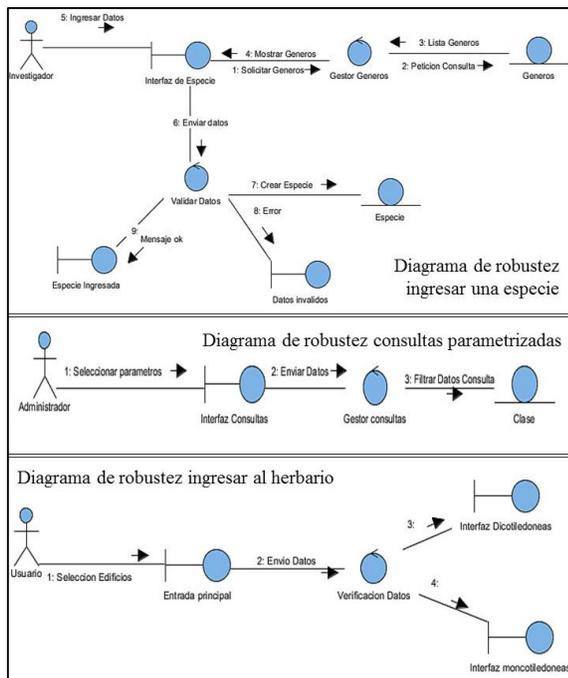


Figura 3. Diagramas de robustez

- Implantación y mantenimiento, donde se realizan las pruebas y revisiones de rendimiento finales, antes del despliegue en el ambiente destinado para alojar la plataforma web, con la debida documentación para los ajustes de mantenimiento. La implementación del sistema de información se realiza en PHP utilizando como *framework* de desarrollo *laravel* y la del museo virtual se encuentra desarrollado en *Unity3D* ambos se comunican mediante una *web service*.

El desarrollo del proyecto utiliza una arquitectura Modelo-Vista-Controlador(MVC), un patrón de arquitectura de software que separa los datos de la aplicación, la interfaz de usuario, y la lógica de negocio en tres componentes distintos, donde: - la vista es la página HTML, - el código que provee de datos dinámicos a la página, - el modelo es el Sistema de Gestión de Base de Datos y la Lógica de negocio, y - el controlador es el responsable de recibir los eventos de entrada desde la vista.

Cabe anotar que: - se contemplan 10 iteraciones, - las pruebas de software permite los ajustes correspondientes para que la plataforma esté lista para la siguiente fase, - el tiempo de desarrollo por cada subsistema de la plataforma contiene el análisis, casos de uso y diagramas de clase y demás elementos requeridos por *Iconix*, - permanece una versión funcional en ambiente web mientras se desarrolla y ajusta a nivel local, y - la plataforma se desarrolla con los estándares de programación *Web*, *JavaScript*, *DOM*, *jQuery*, *WebGL*, que permiten preservarse en el tiempo.

Dicho proceso se orienta a la obtención de sus tres componentes principales:

- Sistema de información: Lleva el control de las especies con sus consultas, y se encarga de verificar el tipo de usuario que ingresa al sistema y da acceso a los procesos que le corresponda, tales como ingreso de ejemplares, modificación de datos de un ejemplar ya ingresado y generación de reportes por su ubicación de colección, nombre de especie, género, familia y demás datos pertinentes. Permite el uso de diferentes dispositivos con acceso a internet (PC, *tablet*, *smartphone*) y se apoya en diferentes tecnologías, como *API*<sup>12</sup> de Google, para la georreferenciación del lugar de colección.

- Museo virtual: Considerando que el Herbario Universidad del Quindío, utiliza el Sistema de Cronquist, el cual clasifica a las Angiospermas<sup>13</sup> en un rango de división y trata a las dicotiledóneas como Magnoliopsidas y a las monocotiledóneas como Liliopsidas al nivel de clases, sigue el Código de Nomenclatura Botánica y por ende considera órdenes, familias, géneros y especies e incluso infracategorías (como subclases, subtribus, subfamilias, subgéneros y subespecies), se construyó el sistema con *Unity3D*<sup>14</sup> bajo la especificación del estándar *WebGL*<sup>15</sup>, para brindar una adecuada inmersión, como sendos edificios (Monocotiledóneas y Dicotiledóneas) asimilando los pisos a órdenes y las habitaciones a las familias del respectivo orden, con información en texto e imágenes, además de opciones de consulta específica.

- Sistema administrativo de la plataforma: Comprende la misión y visión de la institución, al igual que los enlaces a otros sistemas.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto lleva a una solución para la gestión y difusión del Herbario HUQ, mediante una plataforma web con tres

<sup>12</sup> Acrónimo de *Application Programming Interface* (Interfaz de Programación de Aplicaciones), que hace referencia a un “código de programas que trabajan como interfaces, permitiendo y facilitando la interacción y la comunicación entre diversas aplicaciones, tienen el mismo objetivo que una interfaz de usuario, que es hacer amigable la comunicación entre humano y software”[25].

<sup>13</sup> “Las plantas con flores (angiospermas o Magnoliophyta) están presentes en el planeta desde principios del período Cretácico, hace unos 140 millones de años, aunque estudios recientes sugieren que ya existían desde mucho antes, al menos desde el Jurásico, unos 20 o 30 millones de años atrás (...). Tradicionalmente, a las angiospermas se les ha agrupado en 2 grandes clases taxonómicas: las monocotiledóneas (Liliopsida) y las dicotiledóneas (Magnoliopsida). (...) De las monocotiledóneas, se sabe que son un grupo monofilético; sin embargo, en dicotiledóneas aún existen ciertas discusiones sobre una monofilia” [26].

<sup>14</sup> Motor para crear videojuegos desarrollado por *Unity Technologies*, con cuatro versiones (personal, plus, pro y enterprise) utilizables en los sistemas operativos Windows, OS X y Linux. Como motor gráfico utiliza: *Direct3D* en *Windows*, *OpenGL* en *Linux* y *Mac* y *OpenGL* en *Android* e *iOS*. Se pueden desarrollar juegos además para plataformas de sobremesa (*PlayStation 3* y *4*, *XBOX 360* y *One*, *WiiU* y *3DS*), dispositivos móviles (*Android* y *WindowsPhone*), *Smart TV* (*AndroidTV*, *Samsung Smart TV* y *tvOS*), realidad virtual (con *Oculus Rift*, *Gear VR*, *Playstation VR*, *Microsoft HoloLens* y *Steam VR*) y *Web* (con *WebGL*). [27].

<sup>15</sup> Acrónimo de *Web Graphics Library*, una API de *JavaScript*, basado en *OpenGL ES 2.0* (*OpenGL* para sistemas embebidos), para mostrar gráficos en 2D y 3D en cualquier navegador que lo soporte sin la necesidad de usar *plugins* externos [28].

subsistemas (de información multiplataforma, museo virtual y de administración), con una arquitectura flexible para que sus componentes se encuentren en ecosistemas diferentes sin alterar su desempeño, cumpliendo la métrica de software de alta cohesión y bajo acoplamiento creada por Larry Constantine<sup>16</sup>, con características de buenas prácticas de software e integración de varias tecnología con comunicación entre ellas, incluso en el caso de *Unity3D*.

#### A. Subsistema de información multiplataforma (celular inteligente, tableta, computador).

Hace posible la gestión de la información de las colecciones botánicas, para lo cual cuenta con un diseño adaptativo a diferentes dispositivos, respetando la clasificación taxonómica vegetal. Se encarga de verificar el tipo de usuario que accede al sistema, permitiendo la ejecución de procesos (ingresar, consultar, modificar y eliminar datos) según corresponda. Además, dispone de un módulo de chat (que posibilita compartir entre los investigadores), un módulo de reportes del sistema (se evidencian los contenidos mediante gráficos y estadísticas), y tecnologías de georreferenciación como el uso de API de Google (para registrar el lugar donde se encontró el ejemplar).

La arquitectura del sistema facilita a los investigadores utilizar la aplicación en las salidas de campo para almacenar la información en tiempo real mientras recolectan ejemplares.

#### B. Subsistema Museo virtual interactivo para consulta vía web.

Permite la visualización de las colecciones de plantas, simulando un videojuego, donde el usuario se puede desplazar por un entorno 3D. La lógica de presentación consiste en que cada edificio representa una clase, cada piso un orden y cada sala una familia botánica. Así, se cuenta con dos edificios (Monocotiledóneas y Dicotiledóneas), con recepción y un ascensor que conduce a los pisos, donde cada sala tiene una exposición de cinco especies cargadas aleatoriamente, que se muestran en cuadros de las paredes, además de una estación de chats para que los usuarios puedan comunicarse y compartir información (Figura 4).



Figura 4. Subsistema de museo virtual

#### C. Subsistema administrativo.

Gestiona la información institucional y permite enlaces a los subsistemas museo virtual y de información (Figura 5).



Figura 5. Subsistema administrativo

Los resultados anteriormente descritos, muestran que como otros herbarios digitales consultados, administra la información textual y gráfica almacenada con miras a su conservación y consulta desde la web, cuenta con un museo virtual que involucra el concepto de gamificación/ludificación<sup>17</sup> para facilitar el acceso y comprensión de su contenido, lo cual es una opción interesante para que el herbario sea visitado por estudiantes de primaria y secundaria, e incluso se incorpore como recurso didáctico en sus asignaturas de ciencias naturales, sin descartar su uso en otros niveles académicos.

Para conseguir su funcionalidad, aunque es compleja en su estructura al integrar varios subsistemas, cumple con la característica de modularidad, lo que permite que cada subsistema pueda ser reutilizado de manera independiente, siendo coherente con la condición de que, como aseguran Vizoso y Quesada [31], este tipo de sistemas o plataformas

<sup>16</sup> “Dentro de la programación modular hay trabajos orientados a establecer métricas para indicar el grado de cohesión de un módulo de software (Stevens, Myers, Constantine, 1974) (Yourdon y Constantine, 1979); se logra alta cohesión cuando cada módulo (función o procedimiento) realiza una única tarea trabajando sobre una sola estructura de datos.(...) A mayor cohesión de una clase de objeto de aprendizaje, menor acople se requiere cuando la clase de objeto de aprendizaje es reutilizada (Morris, 2007). La cohesión mide la cercanía (o grado de relación) de las actividades en un objeto de aprendizaje. Morris ha adaptado la métrica desarrollada para medir la cohesión de software por Stevens, Myers y Constantine (Stevens, Myers, Constantine, 1974) a clases de objetos de software y posteriormente a clases de objetos de aprendizaje (Morris, 2007)” [29].

<sup>17</sup> “En los últimos años ha aumentado el uso de elementos lúdicos en entornos no recreativos para aumentar la participación y la fidelidad del público. Esta estrategia, denominada ludificación, y conocida también como gamificación [proveniente del anglicismo *gamification*], consiste en integrar técnicas, dinámicas y otros elementos propios de los juegos y del ocio en actividades no lúdicas de la vida cotidiana” [30].

permite la preservación de materiales, que implica un gran volumen de información digital, y su recuperación en cualquier momento y lugar.

Las características involucradas, facilita que el herbario no solo tenga sus ejemplares en formatos digitales (que permitan su conservación, recuperación y actualización, además de la posibilidad de estudios utilizando técnicas de minería de datos), sino que permite la ampliación de su cobertura, al facilitar la comunicación entre expertos, el acceso por estudiantes y comunidad en general, e incluso la comunicación entre la comunidad y los expertos mediante las opciones de chat integradas al sistema, sin olvidar el aporte en materiales que pueden hacer personas con conocimientos básicos relacionados con botánica.

## VI. CONCLUSIONES

La incorporación de herramientas informáticas y computacionales en el campo de la botánica, particularmente en los herbarios, se constituye en un avance considerable en términos de visibilidad, acceso, uso, disponibilidad y gestión de la información, por parte de los responsables del Herbario Universidad del Quindío, en este caso, como la consulta, interacción y utilización permitida a la comunidad en general, lo permita ampliar la cobertura del herbario, incluso en labores académicas de diversos niveles académicos, especialmente por el enriquecimiento con aspectos de gamificación/ludificación.

La plataforma desarrollada permite que la comunidad pueda aportar información sobre ejemplares botánicos, diligenciando en línea los datos básicos (ubicación, descripción, imágenes) que los expertos del herbario podrán evaluar, y en caso de considerarlo pertinente, alimentar el sistema con la nueva información o ratificar con trabajo de campo. Esta opción acerca el herbario a la comunidad y proporciona información que posiblemente en otras circunstancias pasaría desapercibida, perdiéndose oportunidades para estudios de distribución de especies, por ejemplo.

Debido a la dinámica misma del herbario, la plataforma permite la actualización y ampliación de la información sobre los especímenes existentes en él, así como la incorporación de nuevos especímenes aumentando su volumen de datos, lo cual facilita estudios posteriores, aplicando técnicas de minería de datos y geoposicionamiento, para alimentar la base científica botánica y aportar a soluciones relacionadas con el ecosistema.

## RECONOCIMIENTOS

Se agradece a cada una de las personas que contribuyeron en la gestación y ejecución del proyecto 'Plataforma web para Colecciones Botánicas' que soporta este artículo, desarrollado por el primer autor, con la asesoría y dirección

de los otros dos autores, para optar al título de Magíster en Gestión y Desarrollo de Software por la Universidad Autónoma de Manizales.

## REFERENCIAS

- [1] Centro de Estudios e Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología de la Universidad del Quindío (CIBUQ), Historia, [en línea]. Disponible en: [http://www.uniquindio.edu.co/cibuq/publicaciones/historia\\_39\\_pub](http://www.uniquindio.edu.co/cibuq/publicaciones/historia_39_pub)
- [2] E. Trujillo-Trujillo, P. A. Vargas-Triviño, y L. V. Salazar-Fajardo, "Clasificación, manejo y conservación de colecciones biológicas: una mirada a su importancia para la biodiversidad", *Momentos de Ciencia*, vol. 11, no. 2, pp. 97-106. 2014.
- [3] D. S. Gernandt, V. Sánchez-Cordero, U. M. Samper-Palacios, O. J. Giménez-Héau, y G. Salazar, "Digitalización del Herbario Nacional de México: avances y retos del futuro", *Rev. digit. univ.*, vol. 15, no. 4, pp. 1-13. 2014.
- [4] V. A. Ramírez-Castaño, D. Cumbalaza-Noreña, y B. Toro-Restrepo, "Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas (MHN-UC): una ventana al conocimiento de la biota andina", *Bio-Grafía: Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, no. Extraordinario, pp. 1-8. 2015.
- [5] J. O. Rangé-Ch., "La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional", *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Fis. Nat.*, vol. 39, no. 151, pp. 176-200. 2015
- [6] Jardín Botánico de Medellín 'Joaquín Antonio Uribe', Herbario, [en línea]. Disponible en: <https://www.botanicomedellin.org/servicios/area-cientifica/herbario/>
- [7] J. Vélez-Gavilán, y D. K. Kolterman, "Evolución de los herbarios, desde sus usos históricos hasta el rol en la conservación de especies: Herbario MAPR". Presentado en VIII Congreso de la Biodiversidad Caribeña (CBDC), Santo Domingo, República Dominicana. 2014.
- [8] F. Gálvez-Prada, B. J. Sañudo, J. D. Franco-Navarro, y J. P. Serrano, "Digitalización del Herbario de D. Vicente Latorre y Pérez en el I.E.S. Padre Luis Coloma de Jerez de la Frontera", *Bol R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, vol. 1, pp. 47-55. 2014.
- [9] Missouri Botanical Garden, Missouri Botanical Garden [online]. Available: <http://www.missouribotanicalgarden.org/>
- [10] The New York Botanical Garden (NYBG), Collections Digitization [online]. Available: <https://www.nybg.org/>
- [11] Universidad de las Islas Baleares (UIB), ¿Qué es el Herbario Virtual del Mediterráneo Occidental? [en línea]. Disponible en: <http://herbarivirtual.uib.es/cas-med/estatic/quees.html>
- [12] C. Pladevall, y M Domènech, "Herbario Bouchard, el herbario de Andorra", *Boletín de la AHIM*, vol. 14-15, pp. 21-24. 2013

- [13] Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, Herbario virtual [en línea]. Disponible en: <https://www.sinchi.org.co/coah/consulta-de-especimenes-coah>
- [14] Universidad Nacional de Colombia, Herbario Nacional Colombiano [en línea]. Disponible en: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/>.
- [15] G. G. Sosa-Pérez, y A. L. Mateus-Rodríguez, “Diseño de un aplicativo de software para la recolección de muestras biológicas en campo para el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional”. Tesis, Grado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. 2015.
- [16] J. A. Martínez-Pulido, y J. S. Sánchez-Fernández, “Georreferenciación de los ejemplares botánicos de la colección del Herbario Forestal (UDBC)”, Tesis, Grado en Ingeniería Forestal, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. 2016.
- [17] The Field Museum, vPlants: a Virtual Herbarium of the Chicago Region [online]. Available: <https://www.fieldmuseum.org/vplants-virtual-herbarium-chicago-region>
- [18] The Field Museum, Neotropical Herbarium Specimens [online]. Available: <http://fm1.fieldmuseum.org/vrrc/>
- [19] Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB Colombia), ¿Qué es el SiB Colombia? [en línea]. Disponible en: <https://www.sibcolombia.net/el-sib-colombia/>
- [20] K. Arrieta-Mejía, D. Salas-Álvarez, y J. Gómez-Gómez, *Acceso a contenidos de herbarios por medio de realidad aumentada: Vista de herbarios con realidad aumentada*. Saarbrücken: Editorial Académica Española, 2016. 232 p.
- [21] A. Marín-Patoni, “Desarrollo de prototipo de aplicación (app), para dispositivos móviles basados en el sistema operativo iOS, para el reconocimiento de objetos “hojas” en imágenes”, Tesis, Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 2014.
- [22] E. Villegas-Gómez, J. M. Ruiz-Rodríguez, y F. López-Gallego, F., “El conflicto en el desarrollo ágil: una perspectiva desde el SCRUM”, *Revista Gestión y Región*, no. 21, pp. 121-149. 2016
- [23] M. E. Navarro, M. P. Moreno, J. Aranda, L. Parra, J. R. Rueda, y J. C. Pantano, 2017. - Selección de metodologías ágiles e integración de arquitecturas de software en el desarrollo de sistemas de información. XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2017), Buenos Aires, Argentina.
- [24] L. A. Jumbo-Flores, P. A. Quezada-Sarmiento, S. J. Bustamante-Ordóñez, y E. J. López-Alama, “Desarrollo de aplicación web para la gestión de producción de camarón”. *Revista Espacios*, vol. 39, no. 04, pp. 28. 2018.
- [25] L. D. Pungacho-Sánchez, “Desarrollo de un prototipo de una aplicación, basada en Android que permita autenticar el taxi y su conductor”, Tesis, Ingeniero en Sistemas y Computación. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Escuela de Sistemas y Computación, Quito, Ecuador. 2017.
- [26] J. L. Villaseñor, y E. Ortiz, “Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México”. *Rev. Mex. Biodivers.*, vol. 85, no. Supl., pp. 134-142. Ene, 2014
- [27] G. J. Conca-Pascual, “Juego hecho en Unity 3D: Space Bullet”. Tesis, Grado en ingeniería informática, Universidad Politécnica de Sevilla, Sevilla, España. 2016.
- [28] A. Sanz-Asenjo, “Tutorial web para el aprendizaje de WebGL”, Tesis, Grado en Ingeniería Informática, Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Valladolid, España. 2016.
- [29] P. Calvo, “Una metodología para el desarrollo de Patrones de Diseño para Objetos de Aprendizaje Constructivista Colaborativo”, Tesis, Maestría en Tecnología Informática aplicada en Educación, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. 2015.
- [30] J. Franganillo, “El funware en los sitios de recomendación social: características, claves e inconvenientes”, *Anuario ThinkEPI*, vol. 12, pp. 242-250. 2018
- [31] M. Vizoso, and C. Quesada, (2015, Jul.), Catalogue of type specimens of fungi and lichens deposited in the Herbarium of the University of Granada (Spain), *Biodivers Data J.* [online], 3, e5204. Available: <https://doi.org/10.3897/BDJ.3.e5204>.