

## Sistema para el reporte geolocalizado de árboles urbanos enfermos en la ciudad de Cartagena

### Reporting geolocalized system of diseased urban trees in the Cartagena city

María Fernanda Durango Hoyos



Pedro Emilio Hernández Muñoz



Martín Monroy Ríos



Universidad de Cartagena, Colombia

OPEN ACCESS

Recibido: 06/06/2023

Aceptado: 08/08/2023

Publicado: 31/10/2023

Correspondencia de autores:

mdurangoh@unicartagena.edu.co



Copyright 2020  
by Investigación e  
Innovación en Ingenierías

#### Resumen

**Objective:** Proponer un sistema móvil para que los ciudadanos reporten las afectaciones que sufren los árboles en el entorno urbano, facilitando la gestión de las entidades encargadas del control y cuidado del recurso arbóreo. **Metodología:** La investigación se hizo bajo el enfoque cualitativo, aplicando el método de Pensamiento de Diseño para garantizar una solución centrada en las personas. El proceso de ingeniería de software se realizó bajo el marco de trabajo del Proceso Racional Unificado. **Resultados:** Se construyó una solución tecnológica representada por la documentación y un producto software. La documentación contiene el modelo del negocio, los requisitos del sistema y las decisiones arquitectónicas. El producto software es un sistema móvil que cumple con los requisitos establecidos. **Conclusión:** Las pruebas realizadas demostraron que el sistema desarrollado guía en forma intuitiva al ciudadano, para que genere el reporte de afectaciones de árboles en el perímetro de la ciudad, y a la entidad de control ambiental le facilita el registro y seguimiento de la atención que hace al reporte realizado por el ciudadano.

**Palabras clave:** Gestión del recurso arbóreo, aplicaciones móviles, GPS, participación ciudadana.

#### Abstract

**Objetivo:** Propose a mobile system so that citizens can report the trees affectations in the urban environment, facilitating the management of the entities in charge of the tree resource control and care. **Methodology:** The research was done under the qualitative approach, applying the Design Thinking method to guarantee a people-centered solution. The software engineering process was carried out under the Rational Unified Process framework. **Results:** A technological solution represented by the documentation and a software product was built. The documentation contains the business model, system requirements, and architectural decisions. The software product is a mobile system that meets the established requirements. **Conclusion:** The tests carried out allow us to conclude that the developed system intuitively guides the citizen, to generate the tree affectations report in the city perimeter, and the environmental control institutions to facilitates the registration and follow-up of the attention given to the citizen report.

**Keywords:** Tree resource management, mobile applications, GPS, citizen participation.

## Introducción

Los árboles urbanos proveen servicios esenciales porque disminuyen la contaminación mejorando la calidad del aire, ayudan a regular la temperatura y la humedad, además son parte esencial en la creación de espacios que mejoran el aspecto estético, propician la actividad física y la interacción social, optimizando la calidad de vida [1]. Por eso, la planificación urbana, desde la perspectiva de la ciudad como un sistema socio-ecológico integrado, implica el diseño y mantenimiento de espacios verdes urbanos que prestan servicios eco-sistémicos, permitiendo la creación de redes sociales que contribuyen a la justicia socio-ambiental [2]. Sin embargo, la gestión del recurso arbóreo urbano es una actividad compleja, que integra aspectos económicos, políticos y sociales para desarrollar acciones de manejo integral del bosque urbano tendientes a mejorar la calidad de vida [3].

Por otra parte, los árboles en el entorno urbano están expuestos a factores bióticos y abióticos que afectan su salud y que en casos extremos les pueden generar incluso la muerte [4]. Esta situación, además de afectar el ecosistema urbano, también puede representar grandes riesgos para los ciudadanos, su integridad física, sus bienes privados, así como también para la infraestructura pública, representada en redes eléctricas, de comunicación, vías, entre otros [5]. Cada estado define estrategias y políticas para el cuidado del medio ambiente, en las que incluye unidades administrativas a nivel nacional y local responsables de la gestión ambiental en general. A su vez, estas entidades definen protocolos y lineamientos orientados a garantizar la salud del recurso arbóreo urbano [6]. Si bien el proceso de gestión del cuidado del recurso arbóreo puede cambiar dependiendo de las particularidades de cada entidad, siempre inicia con la identificación y el reporte de la novedad que se presenta en el árbol en específico.

Esta tarea es dispendiosa y costosa porque exige una inspección individual de cada árbol, por eso la mayoría de las entidades de control ambiental involucran a la ciudadanía en este proceso [7]. Sin embargo, esto exige al ciudadano destinar tiempo adicional para desplazarse a las oficinas de las entidades de control ambiental para generar el reporte en formatos físicos, recoger las evidencias y la información detallada que describa la afectación que sufre el árbol, lo cual a su vez se convierte en un problema más para el ciudadano, razón por la cual es mínima la figura de participación ciudadana.

Algunas ciudades del Reino Unido [8, 9], Canadá [10], Estados Unidos [11] y Australia [12] cuentan con sistemas web para que el ciudadano reporte novedades que se presenten con los árboles. Estos sistemas inicialmente despliegan una lista de posibles situaciones: caída del árbol, caída de ramas, afectación del tráfico, afectación de infraestructura pública, etc. Dependiendo la opción seleccionada le permiten al usuario detallar la afectación describiéndola con sus propias palabras. Luego se registra la dirección del lugar donde se generó la novedad y finalmente el ciudadano registra sus datos de contacto.

Cartagena de Indias cuenta con 58.500 árboles distribuidos en 74 especies vegetales, con una cobertura arbórea del 11,47 % de la totalidad del área pública urbana [13]. La autoridad ambiental encargada del cuidado de los árboles es el Establecimiento Público Ambiental (EPA). Para el cumplimiento de sus objetivos misionales el EPA establece como estrategia vincular activamente a la comunidad para lograr una ciudad bien diseñada, con un bosque urbano saludable, que a su vez contribuya a la salud y el bienestar de las comunidades [14]. Actualmente, cuando un ciudadano identifica una novedad relacionada con un árbol, puede reportarla vía telefónica, por correo electrónico o directamente en las instalaciones del EPA. Esto obliga a la persona a recolectar las evidencias, describir los hechos y comunicarlos por alguno de los medios mencionados. Cuando se trata de una enfermedad en el árbol, se requiere de conocimientos específicos para describir con precisión la afectación y para identificar con claridad qué pruebas se deben recolectar. Teniendo en cuenta que la mayor parte de la ciudadanía no cuenta con estos conocimientos

y por lo tanto no genera este tipo de reportes, el EPA debe adelantar costosas y dispendiosas campañas para la identificación de árboles enfermos que representen riesgos para la ciudadanía, sus bienes y la infraestructura urbana.

Para facilitar la implementación de la estrategia de involucrar a la ciudadanía y a su vez disminuir los costos y facilitar el proceso de identificación y reporte de árboles enfermos en la ciudad de Cartagena, se propone como solución tecnológica la creación de un sistema georreferenciado, que le permite al ciudadano reportar en forma intuitiva desde su dispositivo móvil la novedad que observa en un árbol que se encuentre en el perímetro urbano. En consecuencia, el principal aporte de este trabajo es la construcción de un sistema que sirve de herramienta para el reporte geolocalizado de los árboles en riesgo o con problemas fitosanitarios. Además, el sistema desarrollado cuenta con un módulo que enseña al ciudadano sobre las enfermedades de los árboles y cómo identificarlas. Su despliegue y uso permitirá la creación de un gran repositorio de datos, que puede ser utilizado por los gobiernos locales y regionales para incorporar servicios eco-sistémicos urbanos, como parte integral de la adopción de políticas para la planificación territorial y la conservación de la biodiversidad, teniendo en cuenta que el mayor reto para las entidades administrativas y de control ambiental es contar con información, instrumentos y lineamientos específicos del contexto, que pueden integrarse fácilmente en la toma de decisiones y la generación de políticas [15].

## Metodología

La investigación se realizó bajo el enfoque cualitativo, aplicando la metodología Pensamiento de Diseño (*Design Thinking*) [16] porque se requiere una solución centrada en las personas. Teniendo en cuenta que la solución del problema planteado implica un proceso de ingeniería de software, para garantizar la calidad del producto se utilizó el marco de trabajo conocido como RUP (*Rational Unified Process*), porque es centrado en la arquitectura garantizando la calidad tanto del proceso como del producto, y porque es iterativo e incremental, permitiendo mantener un control riguroso sobre cada uno de los avances del desarrollo del proyecto [17]. Además, brinda buenas prácticas y guías que orientan el proceso de desarrollo de software, bajo un enfoque disciplinado para la asignación de tareas y responsabilidades del equipo de desarrollo [17]. El producto obtenido se evaluó realizando pruebas de caja negra, bajo los escenarios de uso de cada uno de los perfiles de usuario definidos para el sistema con el fin de garantizar la corrección funcional.

En la etapa de inicial (comprender) se realizó una revisión documental, que incluyó documentos oficiales del EPA Cartagena [18], el marco legal ambiental distrital y nacional. Además, se realizaron entrevistas a ciudadanos y a funcionarios de ésta entidad para modelar el proceso de reporte de árboles enfermos e identificar los actores que intervienen, su rol en el manejo del arbolado urbano y sus intereses. También se identificaron los indicadores que determinan el estado de salud del recurso arbóreo. En la etapa de definición se estableció el ámbito del sistema en términos de los requisitos funcionales y de atributos de calidad. Para lograrlo se aplicó la técnica de modelado de negocio, que permitió representar la realidad del contexto del problema por medio de modelos legibles para el equipo de desarrollo. Como resultado de esta etapa se obtuvo: La visión del producto, la especificación de los requisitos esenciales, una versión inicial del modelo del negocio correspondiente al contexto del problema a solucionar, la planificación para el desarrollo del proyecto y una evaluación inicial del riesgo.

En la etapa de ideación se propuso la solución conceptual bajo el enfoque de la programación orientada a objetos y el diseño dirigido por atributos [19], estableciendo la línea base de la arquitectura del sistema, definiendo su diseño, e iniciando su implementación. Se definieron las directrices arquitectónicas, las tecnologías para el desarrollo y el despliegue del sistema y se representó su arquitectura bajo el modelo

de vistas 4 + 1 [20]. Además, en esta etapa se refinó la especificación de requisitos y el modelo de negocio. Como resultado de esta etapa se obtuvo: La arquitectura del sistema, su representación y el conjunto de decisiones que la soportan; las primeras versiones ejecutables, la versión estable del modelo del negocio del sistema y de los requisitos, y la lista de riesgos.

Posteriormente, en la etapa de prototipado se implementaron los componentes del sistema y se hizo la integración del producto, comprobando por medio de pruebas de caja blanca el cumplimiento de las funcionalidades y de los atributos de calidad establecidos en los requisitos. En esta etapa también se refinó la línea base de la arquitectura y el detalle de su diseño. Como resultado de esta etapa se obtuvo la versión estable del ejecutable del sistema, de su documentación técnica y de uso.

Por último, en la etapa de pruebas se desplegó el sistema en un entorno de operación disponible para los usuarios finales, con el fin de identificar posibles requisitos adicionales para futuros desarrollos. Como resultado de esta etapa se obtuvo un listado de requisitos para la siguiente versión del sistema.

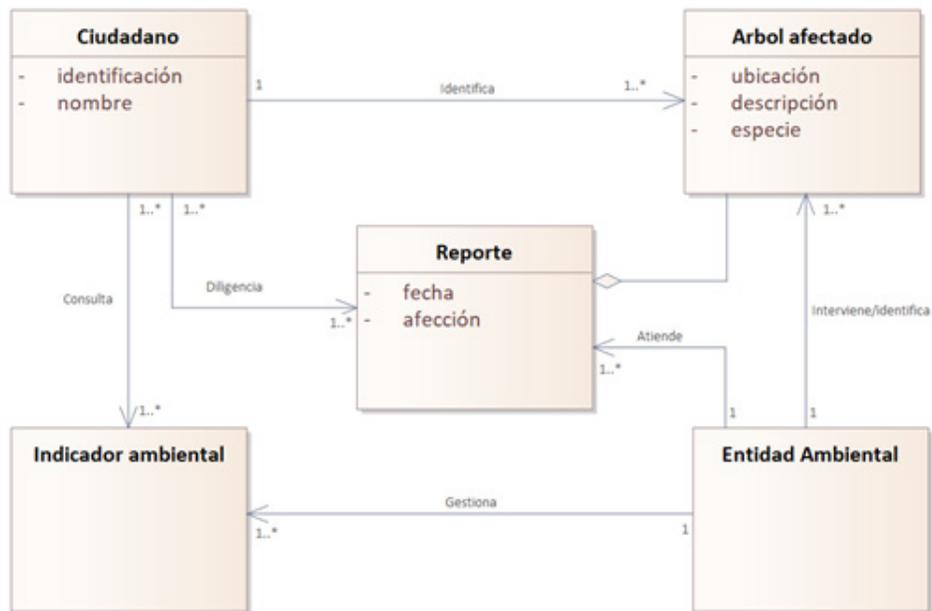
## Resultados

Teniendo en cuenta las etapas establecidas en la metodología a continuación se presentan los resultados de la investigación. Inicialmente se explica el modelo del negocio, describiendo el dominio del problema, los actores y los casos de uso que comprenden el proceso del reporte de árboles enfermos. Luego se documenta la visión del producto y los requisitos que debe cumplir el sistema. Posteriormente se describe la arquitectura del sistema por medio de la vista de escenarios, la vista lógica y la vista física. Finalmente se presentan los resultados de la evaluación de la funcionalidad del sistema, además de un listado de requisitos funcionales para versiones futuras.

### **Modelo del negocio**

Actualmente el reporte de árboles enfermos en la ciudad de Cartagena se realiza de dos formas, la primera cuando el ciudadano es quien identifica la novedad y la reporta directamente en las instalaciones del EPA diligenciando un formulario físico. Esto le exige al ciudadano tiempo disponible para el desplazamiento y conocimientos complementarios para poder describir la afectación que desea reportar. La segunda, cuando el EPA realiza campañas ambientales con sus funcionarios, teniendo en cuenta todas las implicaciones que conlleva un registro en físico de las situaciones encontradas. Con base en este reporte el EPA inicia un proceso interno de atención de la novedad, que puede incluir la intervención del árbol y que concluye con una resolución administrativa. La información generada por este proceso es usada por el EPA para gestionar indicadores ambientales, que pueden ser consultados por los ciudadanos. En el modelo de dominio de la Figura 1 se presentan los actores del sistema y los objetos representativos del contexto del problema. El ciudadano: Persona residente en la ciudad, que por lo general no es experto en el tema ambiental, pero que tiene un interés en el cuidado de los árboles de la ciudad. El EPA: Entidad descentralizada que figura como autoridad en materia ambiental en Cartagena de Indias, *“encargada de administrar y orientar el ambiente y los recursos naturales renovables, gestionando acciones que propendan por la conservación, restauración y desarrollo sostenible, procurando una mejor calidad de vida y el aseguramiento de los ecosistemas, garantizando la participación de la comunidad y los criterios de equidad y transparencia”* [21]. Para el sistema que se está modelando, el principal interés del EPA es el de atender los eventos reportados.

Figura 1. Modelo de dominio



Fuente: Elaboración propia

### Requisitos del sistema

Para facilitar el trabajo del ciudadano y de la entidad ambiental se propone la construcción de una aplicación móvil que permite el reporte de los árboles enfermos usando el sistema de posicionamiento global (GPS), y que cumple con los requisitos funcionales establecidos en la Tabla 1. Como principal atributo de calidad del sistema se estableció la facilidad de mantenimiento, concretamente la capacidad de ser modificado, con el propósito de extender fácilmente su funcionalidad, para integrarlo con otros procesos administrativos de la entidad ambiental y del interés de los ciudadanos. También se le dio alta prioridad a la facilidad de uso, teniendo en cuenta las características de los ciudadanos y su desconocimiento con respecto a las posibles afectaciones que pueden sufrir los árboles.

Tabla 1. Requisitos Funcionales del sistema

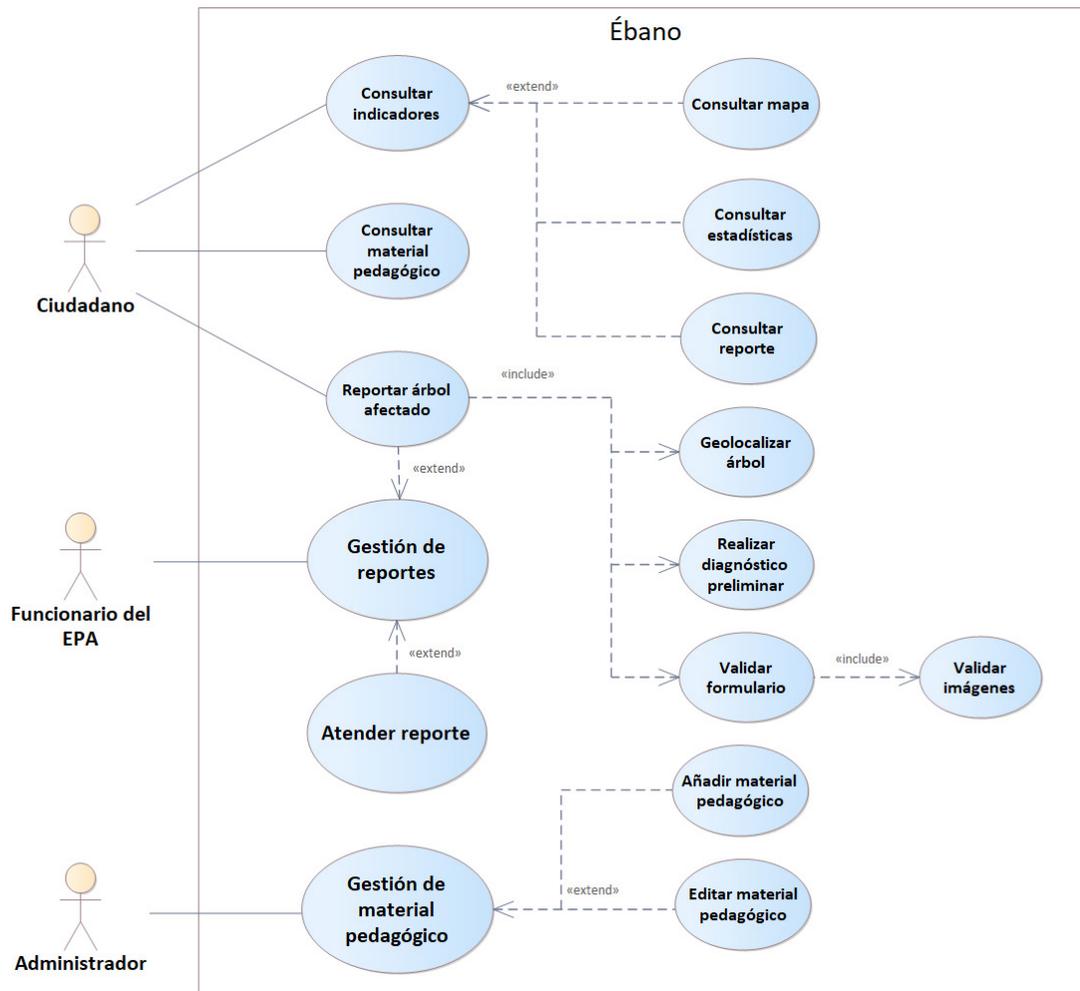
Identificador	Nombre	Descripción	Prioridad
RF-01	Reportar árbol enfermo	El ciudadano o el EPA podrán tomar captura fotográfica y describir el árbol enfermo, el sistema lo geolocaliza y almacena el reporte en la base de datos, generando un identificador único para su seguimiento.	Alta
RF-02	Atender reporte de árbol enfermo	El EPA podrá asignar la atención del reporte a sus funcionarios y registrar su seguimiento. El sistema mantendrá en la persistencia la trazabilidad de la atención del reporte.	Alta
RF-03	Mostrar contenidos pedagógicos	El sistema brindará guías sobre cómo identificar afecciones en los árboles y su cuidado.	Media
RF-04	Consultar indicadores ambientales	El sistema generará reportes estadísticos y por medio de mapas sobre los reportes registrados.	Media

Fuente: Elaboración propia

### Arquitectura del sistema

Al sistema se le asignó el nombre de Ébano porque corresponde a una especie nativa de árboles de la ciudad de Cartagena que está en vía de extinción [22]. Con base en los requisitos establecidos se definió la vista de escenarios representada en la Figura 2. Teniendo en cuenta los actores del sistema identificados en el modelo de negocio, se definieron tres tipos de usuario para la aplicación: El ciudadano, el funcionario del EPA y el administrador de la aplicación. Este último cumple las tareas típicas de asignación de roles y derechos sobre el uso del sistema, y además es el responsable de la gestión del material pedagógico para mantenerlo actualizado y contextualizado. Para el ciudadano se definieron tres casos de uso: 1) Consultar material pedagógico, para que pueda documentarse sobre las afectaciones comunes que pueden sufrir los árboles; 2) reportar árbol afectado para que pueda diligenciar el formato que anteriormente llenaba en forma física en las instalaciones del EPA; 3) Consultar indicadores para hacer seguimiento sobre el árbol reportado y sobre los indicadores estadísticos generados por el EPA. El funcionario del EPA es el responsable de la gestión de los reportes generados por los ciudadanos y concretamente de la atención de cada uno de ellos.

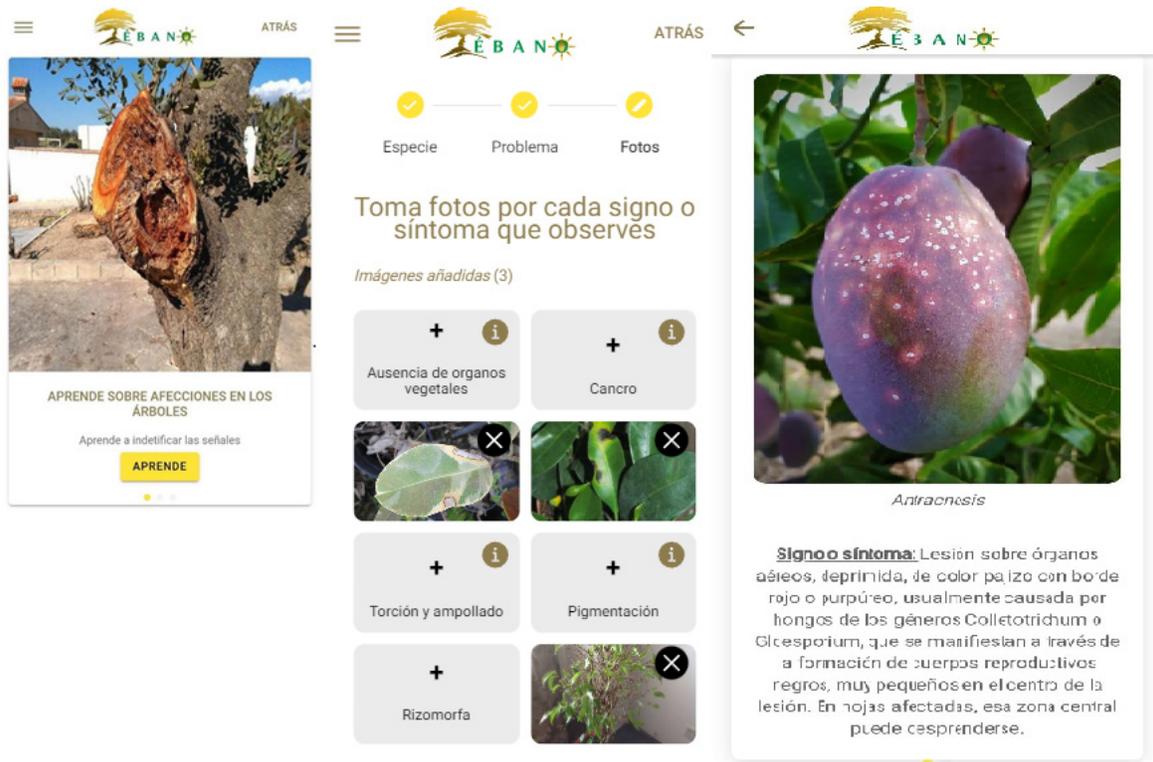
Figura 2. Vista de escenarios



Fuente: Elaboración propia

El diseño de la interfaz gráfica de la aplicación se hizo teniendo en cuenta que la mayor parte de los ciudadanos desconocen los aspectos técnicos relacionados con las afectaciones que pueden sufrir los árboles. Por eso el sistema brinda la posibilidad de consultar el material didáctico en cualquier momento. Cuando el ciudadano está reportando el árbol, en forma intuitiva puede incluir fotografías de las partes afectadas o de los síntomas observables, y al finalizar el reporte el sistema le muestra el resumen del reporte generado (Ver Figura 3). De igual forma, el ciudadano puede consultar el estado del reporte y los indicadores que genera el sistema por medio de mapas satelitales y gráficos estadísticos, como se observa en la Figura 4. Con el fin de garantizar la veracidad de la información generada en el reporte, el ciudadano debe hacer un registro sencillo de sus datos básicos.

Figura 3. Interfaz gráfica de la aplicación

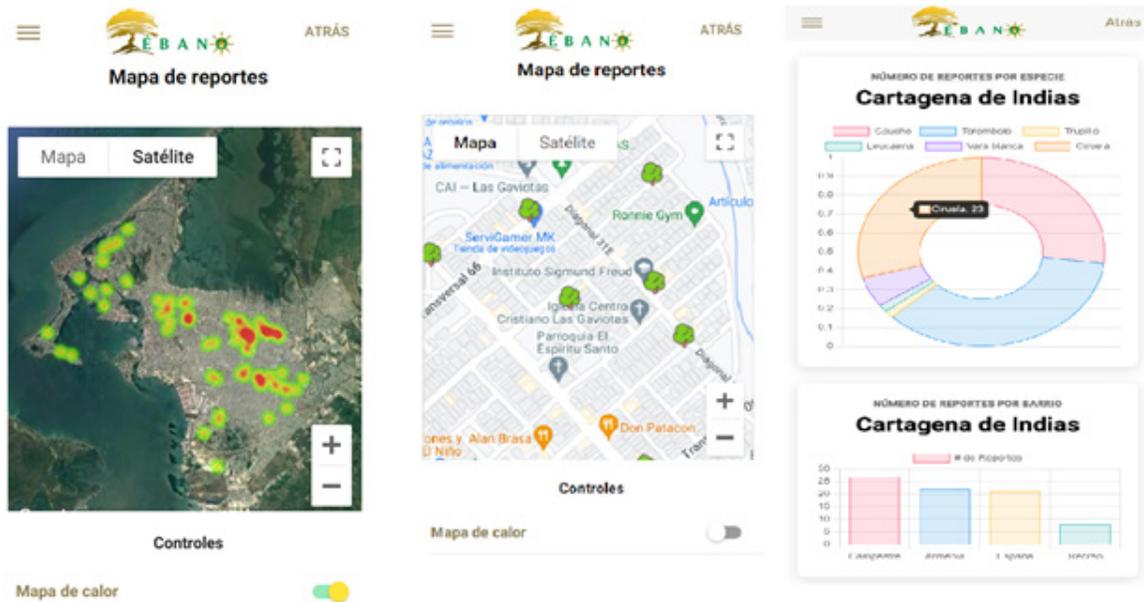


a. Material didáctico

b. Captura de evidencia fotográfica

c. Resumen del reporte

Figura 4. Interfaz gráfica de la aplicación. Reportes



a. Mapa satelital

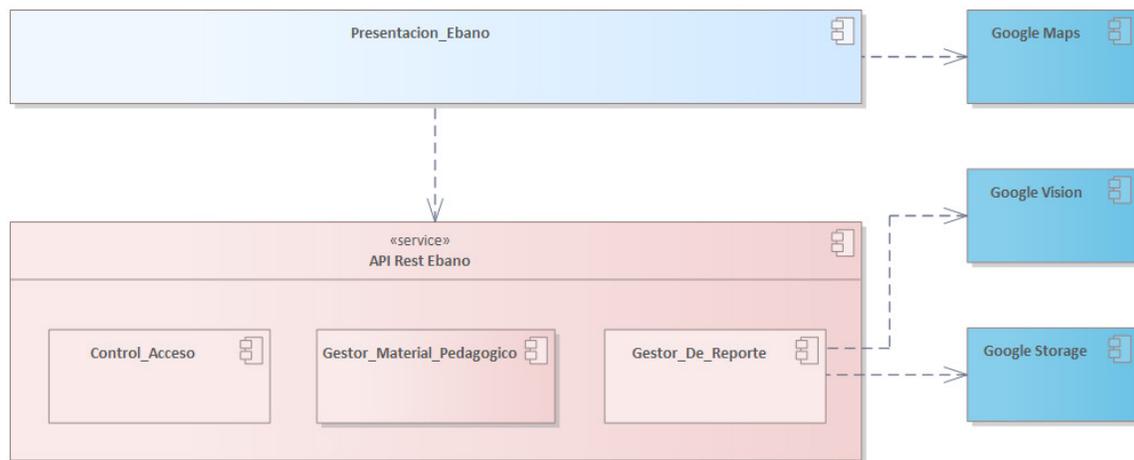
b. Acercamiento de una zona

c. Reporte estadístico por especie y por barrio

La estructura del sistema se organizó en dos capas, separando los aspectos relacionados con la lógica de la aplicación de la interacción del usuario. Esto se observa en la Figura 5 que representa la vista lógica del sistema. La capa de la lógica se estructuró en microservicios que se implementaron bajo el enfoque de arquitectura limpia [23], para garantizar el cumplimiento del principal atributo de calidad del sistema: facilidad de mantenimiento. Se implementaron tres microservicios: *Control\_Acceso*: responsable de la gestión de usuarios y el control de acceso a la aplicación. *Gestor\_De\_Reporte*: Permite el registro de los reportes de árboles enfermos y su atención por parte de los funcionarios del EPA. *Gestor\_Material\_Pedagogico*: encargado de crear, editar y permitir la consulta del material pedagógico que muestra la aplicación.

La captura de las coordenadas del árbol que se está reportando se hace usando el sistema de posicionamiento global del dispositivo móvil. Se garantiza que las fotografías enviadas corresponden a imágenes de árboles o sus partes, invocando los servicios de Google Vision. Las fotografías se guardan haciendo uso del servicio de Google Storage. Este microservicio incluye la funcionalidad de establecer un pre-diagnóstico automático sobre la afectación del árbol, a partir de la información suministrada en la generación del reporte. El cálculo del pre-diagnóstico se hace teniendo en cuenta la parte afectada (raíces, tallo, hojas, frutos) y los signos y/o síntomas que presente según la taxonomía representada en la Figura 6 suministrada por el EPA.

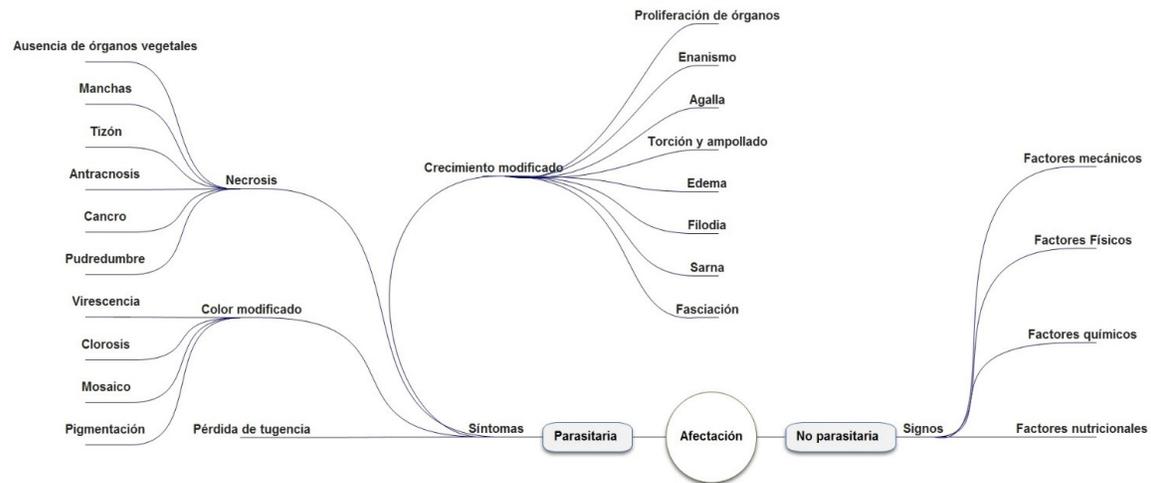
**Figura 5. Vista lógica**



**Fuente: Elaboración propia**

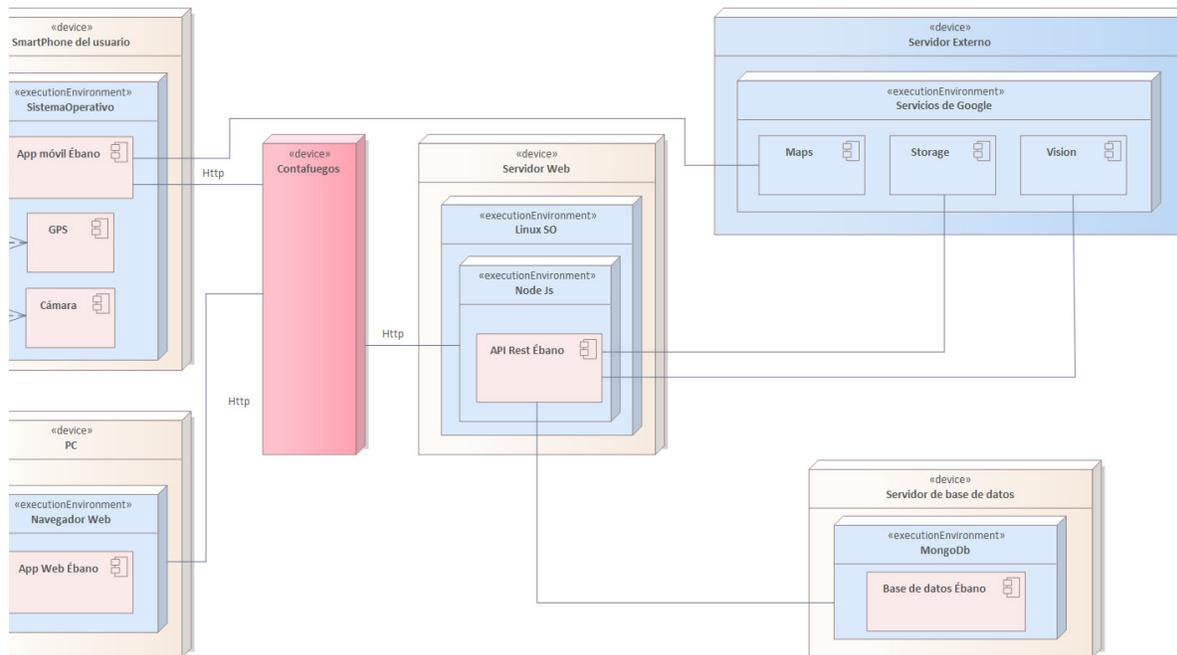
Para el despliegue del sistema se aplicó el patrón de tres niveles porque facilita la escalabilidad, reduce el acoplamiento de infraestructura y permite fortalecer la seguridad [19]. Como se observa en la figura 7 que representa la vista física del sistema, el primer nivel corresponde a la capa de interacción representada en tiempo de ejecución por la aplicación móvil y la interfaz web. El dispositivo móvil debe ser de cuarta generación, con sistema operativo iOS o Android, contar con cámara, GPS y conectividad a internet. En el nivel de aplicación se ejecuta el API Rest Ébano sobre el entorno de ejecución Node.js. En el nivel de datos y servicios se encuentra la persistencia del sistema en *MongoDB* y los servicios de *Google* que usa la aplicación: *Maps*, *Vision* y *Storage*. Para garantizar la seguridad de la aplicación se utiliza un cortafuegos entre el nivel de presentación y el de aplicación.

Figura 6. Taxonomía para el cálculo del pre-diagnóstico



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Vista Física



Fuente: Elaboración propia

Para evaluar la funcionalidad del sistema se diseñaron y ejecutaron los siguientes casos de prueba, en función de cada uno de los perfiles de usuario y el flujo de procesos que realiza. Para el perfil del ciudadano inicialmente consulta el material pedagógico para familiarizarse con los diferentes tipos de afectaciones que puede sufrir un árbol, luego hace el reporte de un árbol y finalmente consulta el estado del reporte y los datos estadísticos. Para el perfil del funcionario del EPA, primero hace la asignación del técnico que atiende el reporte y posteriormente registra el estado en que se encuentra. Finalmente, el administrador del sistema registra material pedagógico y luego hace modificaciones del material registrado. La ejecución

de estos casos de prueba confirmó la corrección funcional del sistema y permitió algunas mejoras en su aspecto estético, además de la obtención de un listado de requisitos funcionales para versiones futuras relacionado a continuación: Al ciudadano le gustaría complementar el sistema ampliando el material didáctico con información más detallada sobre la vegetación urbana y sus diferentes formas de cuidado. Por su parte, el funcionario de la entidad de control ambiental recomienda integrar al sistema la gestión del inventario y del mantenimiento del recurso arbóreo, además de la planificación y ejecución del presupuesto destinado al cuidado de este recurso tan valioso para la ciudadanía en general.

## Discusión

Esta solución tecnológica representa un aporte para los ciudadanos, las entidades de control ambiental y la comunidad desarrolladora de software. Para los ciudadanos porque les permite involucrarse directamente en el cuidado de los árboles urbanos, facilitando su reporte ante las entidades de control y haciendo un seguimiento sobre sus solicitudes. Además, les permite aprender sobre el cómo identificar las posibles afectaciones que sufren los árboles urbanos. A las entidades de control ambiental les facilita el proceso de identificación de las afectaciones de los árboles urbanos, porque involucra directamente a la ciudadanía generando conciencia ecológica. Además, hace más eficiente este proceso al disminuir sus tiempos y costos significativamente, porque se disminuye el número de campañas que debe hacer, y cuando las realice contará con el aplicativo para gestionar la información generada. También facilita la gestión del tratamiento que se dé al árbol para su recuperación, y el manejo estadístico de esta información para facilitar la toma de decisiones administrativas. Si bien el sistema ha sido diseñado y desarrollado para la ciudad de Cartagena, los modelos presentados y el código fuente pueden ser utilizados para crear soluciones similares para otras ciudades del territorio colombiano.

La solución presentada se limita exclusivamente a los aspectos tecnológicos, no involucra decisiones administrativas relacionadas con su despliegue y utilización. Desde el aspecto funcional debe acoplarse a los flujos de procesos organizacionales, ya sea por medio de interfaces con los sistemas existentes o con la implementación de nuevas funcionalidades. Su diseño arquitectónico estructurado en microservicios desarrollados bajo el enfoque de arquitectura limpia facilita el cumplimiento de este propósito. Es importante aclarar que el sistema desarrollado no pretende generar un alto grado de precisión al momento de definir la georreferenciación del árbol reportado, porque depende de las capacidades de los dispositivos móviles de los ciudadanos, los cuales tienen un margen de error de 4.9 metros a cielo abierto según las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos [24], y que pueden ser afectados por edificios, puentes e incluso los mismos árboles.

La herramienta tecnológica desarrollada tiene la capacidad de extender sus funcionalidades, convirtiéndose en el núcleo un sistema de información integral, que involucre en forma holística el proceso de gestión del recurso arbóreo urbano, desde la perspectiva de las entidades de control y de la ciudadanía. Por eso se recomienda como trabajo futuro el diseño e implementación de las funcionalidades identificadas como requisitos funcionales para desarrollos futuros, relacionadas previamente, incorporando tecnologías de internet de las cosas para la gestión del inventario y el mantenimiento del recurso arbóreo, y de inteligencia artificial para facilitar aún más la identificación, el reporte y la atención de las afectaciones que puedan sufrir los árboles urbanos.

## Conclusiones

Se construyó un aplicativo que guía en forma intuitiva al ciudadano al momento de reportar novedades sobre el estado de salud de los árboles en la ciudad de Cartagena, usando el GPS y la cámara de su dispositivo móvil. El sistema también permite al ciudadano documentarse sobre la forma correcta de identificar y reportar este tipo de novedades, y a la entidad de control ambiental le facilita el respectivo registro y seguimiento de la atención que brinda al reporte hecho por el ciudadano. El diseño del sistema propuesto permite la inclusión de nuevas funcionalidades para facilitar la gestión del recurso arbóreo urbano, y su acople con los sistemas de información que utilice la entidad de control ambiental, gracias a la aplicación del enfoque de arquitectura limpia. Si bien esta solución fue construida para la ciudad de Cartagena de indias, por su diseño arquitectónico se puede ajustar a otras ciudades del territorio nacional.

Se espera que el despliegue y uso del sistema propuesto contribuya a la estrategia de vincular activamente a la comunidad en el cuidado del recurso arbóreo urbano, y que a su vez permita la generación de una conciencia social sobre la importancia de los servicios eco-sistémicos que nos brinda. De igual forma, la información recolectada conformará un gran repositorio de datos, que puede servir como insumo a gobiernos locales y regionales en el diseño, planificación e implementación de políticas que garanticen la conservación de la biodiversidad [15].

## Referencias bibliográficas

1. B. W. Salmond, J.A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K.N., 798 Heaviside, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R.N., Wheeler, "Health and climate 799 related ecosystem services provided by street trees in the urban environment.," *Environ*, pp. 15–36, 2016, doi: <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>.
2. N. Enssle, F., Kabisch, "Urban green spaces for the social interaction, health and well-being of older people—An integrated view of urban ecosystem services and socio-environmental justice," *Environ. Sci. Policy*, no. 109, pp. 36–44, 2020.
3. L. P. Miller, R. W., Hauer, R. J., & Werner, "Urban forestry: planning and managing urban greenspaces," *Wavel. Press*, 2015.
4. Z. Sierota, W. Grodzki, and A. Szczepkowski, "Abiotic and biotic disturbances affecting forest health in Poland over the past 30 years: Impacts of climate and forest management," *Forests*, vol. 10, no. 1, pp. 1–17, 2019, doi: [10.3390/f10010075](https://doi.org/10.3390/f10010075).
5. R. W. Klein, A. K. Koeser, R. J. Hauer, G. Hansen, and F. J. Escobedo, "Risk assessment and risk perception of trees: A review of literature relating to arboriculture and urban forestry," *Arboric. Urban For.*, vol. 45, no. 1, pp. 26–38, 2019, doi: [10.48044/jauf.2019.003](https://doi.org/10.48044/jauf.2019.003).
6. F. J. Escobedo, V. Giannico, C. Y. Jim, G. Sanesi, and R. Laforteza, "Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors?," *Urban For. Urban Green.*, vol. 37, no. June 2017, pp. 3–12, 2019, doi: [10.1016/j.ufug.2018.02.011](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.011).
7. N. S. van Doorn *et al.*, "Urban Tree Monitoring: A Resource Guide," United States Department of Agriculture, 2020. doi: <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-266>.
8. London Borough, "Report a problem with a tree," *London Borough*, 2023. <https://www.barnet.gov.uk/parks-sport-and-leisure/parks-and-open-spaces/trees-barnet/report-problem-tree> (accessed Jul. 07, 2022).

9. Bristol City Council, "Report a problem with a tree," *Bristol City Council Services*, 2022. <https://digital.bristol.gov.uk/museums-parks-sports-culture/report-a-problem-with-a-tree> (accessed Jul. 07, 2022).
10. London, "Report a tree issue," *The official website for the City of London, Ontario*, 2023. <https://london.ca/report-tree-issue> (accessed Jul. 07, 2022).
11. "Tree Service Request," *New York City Department of Parks & Recreation*, 2023. <https://www.nycgovparks.org/services/forestry/request/submit?tab=illegally-damaged-tree> (accessed Jul. 07, 2022).
12. City of Kalamunda, "Tree Service Request," *City of Kalamunda*, 2023. <https://kalamunda.wa.gov.au/our-city/report-it/tree-service-request> (accessed Jul. 07, 2022).
13. EPA, "Plan de silvicultura urbana del distrito de Cartagena de Indias," Cartagena de Indias, 2017. [Online]. Available: <https://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/03/PLAN-DE-SILVICULTURA-URBANO-DE-CARTAGENA-2017.pdf>.
14. EPA, "Lineamientos para el plan de silvicultura urbana para Cartagena," Cartagena de Indias, 2016. [Online]. Available: <https://epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/09/LINEAMIENTOS-PARA-EL-PLAN-DE-SILVICULTURA-URBANA-PARA-CARTAGENA-v2.pdf>.
15. C. Dobbs *et al.*, "Urban ecosystem Services in Latin America: mismatch between global concepts and regional realities?," *Urban Ecosyst.*, vol. 22, no. 1, pp. 173–187, 2019, doi: 10.1007/s11252-018-0805-3.
16. R. Wolniak, "The Design Thinking method and its stages," *Syst. Wspomagania W Inżynierii Prod.*, vol. 6, no. 6, pp. 247–255, 2017.
17. C. Shafiee, S., Wautelet, Y., Hvam, L., Sandrin, E., & Forza, "Scrum versus Rational Unified Process in facing the main challenges of product configuration systems development," *J. Syst. Softw.*, vol. 170, 2020.
18. EPA, "Guía para el mantenimiento de la vegetación urbana del distrito de cartagena," Establecimiento Público Ambiental, Cartagena de Indias, 2015. [Online]. Available: <https://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/tomo-iii-anexo-3-gu-a-para-el-mantenimiento-de-la-vegetaci-n-urbana.pdf>.
19. H. Cervantes and R. Kazman, *Designing Software architectures. A practical approach*. Addison – Wesley, 2016.
20. P. Kruchten, "Architecture blueprints the 4+1 view model of software architecture," *Tutor. Proc. TRI-Ada 1991 Ada's Role Glob. Mark. Solut. a Chang. Complex World, TRI-Ada 1995*, vol. 12, no. November, pp. 540–555, 1995, doi: 10.1145/216591.216611.
21. EPA, "MISIÓN, VISIÓN, FUNCIONES Y DEBERES," 2022. <https://epacartagena.gov.co/web/nosotros/funciones-generales/>.
22. C. Forero, C. Devia, D. Rodríguez, F. Romero, G. Gomez, and I. Iglesias, "Guía ilustrada de árboles para Cartagena de Indias," Cartagena de Indias, 2015. [Online]. Available: <https://epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/08/Guia-multimedia-de-vegetacion.pdf>.
23. R. C. Martin, *Clean Architecture. A Craftsman's Guide to Software Structure and design*. Prentice Hall, 2018.
24. "GPS Accuracy," *U.S. Space Force*, 2022. <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/#how-accurate> (accessed Jun. 03, 2022).