

Diseño de Experiencias Turísticas Significativas para Promover el Ecoturismo en Áreas Protegidas Mediante Realidad Aumentada

Designing Meaningful Tourism Experiences to Promote Ecotourism in Protected Areas Using Augmented Reality

1st Luis Felipe Sancho-Jiménez
Escuela Idiomas y Ciencias Sociales
Instituto Tecnológico de Costa Rica
San Carlos, Costa Rica
lfsancho@itcr.ac.cr

2nd Marlen Treviño-Villalobos
Escuela de Ingeniería en Computación
Instituto Tecnológico de Costa Rica
San Carlos, Costa Rica
mtrevino@itcr.ac.cr

3rd Rogelio Gonzalez-Quiros
Escuela de Ingeniería en Computación
Instituto Tecnológico de Costa Rica
San Carlos, Costa Rica
rojo@itcr.ac.cr

4th Edgar J. Rojas-Muñoz
Escuela de Actuación, Visualización y Bellas Artes
Texas A&M University
Texas, Estados Unidos
ed.rojas@tamu.edu

5th Yoselyn Walsh-Zúñiga
Escuela de Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
ywalsh@itcr.ac.cr

Resumen—Este estudio explora el diseño de experiencias inmersivas para turismo y conservación ambiental mediante realidad aumentada en tres áreas silvestres protegidas del norte de Costa Rica: el Parque Nacional Volcán Arenal, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Caño Negro y el Parque Nacional del Agua Juan Castro Blanco. Se desarrolló una metodología de seis pasos: identificación y clasificación de recursos, determinación del potencial interpretativo, cálculo del índice de aumentabilidad, selección de recursos, definición de técnicas de aumentación e implementación. Para validar la aplicación desarrollada, se realizaron nueve entrevistas semiestructuradas a informantes clave. La evaluación se centró en manejo de información, mantenimiento, beneficio, significado del contenido, disponibilidad, sensitividad, contraste de información, apego y referencialidad futura. Los resultados fueron positivos, aunque se destacaron preocupaciones sobre el mantenimiento. Se discuten las implicaciones del uso de realidad aumentada en contextos turísticos y de conservación, promoviendo un uso efectivo y adaptado a las necesidades de los usuarios y el entorno.

Palabras clave—realidad aumentada, ecoturismo, conservación, diseño de experiencias, tecnología, vida silvestre, metodología.

Abstract This study explores the design of immersive experiences for tourism and environmental conservation using augmented reality in three protected wildlife areas in northern Costa Rica: Arenal Volcano National Park, Caño Negro National Mixed Wildlife Refuge, and Juan Castro Blanco National Water Park. A six-step methodology was developed:

identification and classification of resources, determination of interpretive potential, calculation of the augmentation index, selection of resources, definition of augmentation techniques, and implementation. Nine semi-structured interviews were conducted with key informants to validate the developed application. The evaluation focused on information management, maintenance, benefit, content meaning, availability, sensitivity, information contrast, attachment, and future references. Results were positive, although maintenance concerns were highlighted. The implications of using augmented reality in tourism and conservation contexts are discussed, promoting an effective use adapted to the needs of the users and the environment.

Keywords augmented reality, ecotourism, conservation, experience design, technology, wildlife, methodology.

I. INTRODUCCIÓN

El turismo es una actividad económica crucial en Costa Rica, representando el 6.3 % del PIB en 2016 [1]. Costa Rica cuenta con más de 160 áreas silvestres protegidas (ASP), que abarcan cerca del 25 % del territorio nacional y son administradas por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) [2]. La pandemia del COVID-19 impactó negativamente la industria turística, reduciendo los ingresos

a las ASP, afectando actividades de manejo y conservación, disminuyendo empleos y con el cierre de empresas [3].

Las tecnologías inmersivas, como la realidad aumentada (RA), ofrecen oportunidades para apoyar las actividades turísticas, mitigar el impacto de la pandemia, diseñar experiencias significativas y fomentar el ecoturismo [4], [5]. Sin embargo, la RA ha sido incorporada sin un análisis holístico, lo que ha llevado a inconsistencias en calidad, efectividad y aceptación por parte de turistas y administradores de áreas protegidas [6]. La falta de una metodología estructurada puede resultar en aplicaciones de RA que no se adapten adecuadamente al entorno natural ni optimicen la experiencia del usuario ni las necesidades de conservación y educación ambiental [7].

Este artículo propone una metodología integral para desarrollar aplicaciones de RA en áreas protegidas, abarcando seis pasos: identificación de recursos, evaluación del potencial interpretativo, cálculo del índice de aumentabilidad, selección de recursos, definición de técnicas de aumentación e implementación. La metodología, que involucra a expertos en turismo, computación y manejo de áreas protegidas, asegura la relevancia y utilidad de las herramientas desarrolladas. Se implementó en tres ASP del Área de Conservación Arenal Huettar Norte de Costa Rica: el Parque Nacional Volcán Arenal (PNVA), el Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Caño Negro (RNVSMCN) y el Parque Nacional del Agua Juan Castro Blanco (PNAJCB). Un enfoque metodológico sólido es esencial para garantizar aplicaciones de RA efectivas, sostenibles y que enriquezcan la experiencia turística sin comprometer los objetivos de conservación [8]. Esta guía sistemática y replicable no solo mejora la educación ambiental y la gestión de áreas protegidas, sino que también contribuye al ecoturismo y la conservación mediante el diseño de aplicaciones de RA innovadoras y útiles.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

La RA ha ganado relevancia en sectores como medicina, mercadeo, educación, psicología, publicidad, arquitectura y entretenimiento [9]–[12]. Recientemente, su uso en turismo ha aumentado, incluyendo aplicaciones en parques nacionales y áreas protegidas [13]–[15], con éxito en conservación y promoción turística, beneficiando a PyMEs [16]. Sin embargo, su implementación en turismo ha sido lenta [17]. En Costa Rica, la RA está poco explorada en parques nacionales [10], [13], mostrando gran potencial para innovaciones en áreas rurales [18]. Este estudio busca ser un punto de partida para futuras aplicaciones de RA en áreas protegidas, diferenciándose por su enfoque en la integración de la RA en áreas rurales con limitaciones de conectividad y condiciones climáticas adversas, utilizando técnicas adaptadas para garantizar funcionalidad y efectividad.

III. ANTECEDENTES

III-A. Ecoturismo y áreas de protegidas

El ecoturismo se basa en la práctica del turismo de manera responsable, lo cual tiene implicaciones en el desplazamiento

al área de interés con el propósito de disfrutar, apreciar y estudiar los atractivos naturales, al tiempo que se fomenta la conservación de la biodiversidad [19], [20]. En Costa Rica, las ASP cuentan con zonas de uso para el turismo [3], [19]. Durante la visita a estas áreas, los senderos juegan un papel clave en la promoción del ecoturismo. Estos senderos permiten a los visitantes explorar la biodiversidad mientras siguen rutas predefinidas, ofreciendo una experiencia que resalta la importancia de la conservación [21], esto se realiza mediante la interpretación de los recursos.

III-B. Tecnologías inmersivas en el turismo

Las tecnologías inmersivas, como la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA), se han explorado en el turismo por sus beneficios en conservación y promoción turística [13], [22]–[24]. Estas tecnologías ayudan a la conservación en parques nacionales y áreas protegidas [13], [15], [25] y a mejorar la competitividad de las pequeñas y medianas empresas turísticas [16].

En ecoturismo, la RA es preferida sobre la RV por dos razones: 1) la RA complementa la percepción del mundo real, enriqueciendo la experiencia sin reemplazar el entorno natural [14]; 2) la RA es más accesible, ya que puede usarse en teléfonos móviles, tabletas y mesas interactivas, mientras que la RV requiere lentes específicos como el Meta Quest 2, que no son comunes entre los turistas [26].

Sin embargo, la adopción de la RA en turismo enfrenta desafíos, especialmente en áreas rurales con conectividad limitada [10], [17]. Aunque Costa Rica no tiene informes sobre el uso de RA en áreas protegidas, se reconoce el potencial de su entorno rural para esta tecnología [22].

IV. METODOLOGÍA

La metodología para diseñar aplicaciones de AR para experiencias turísticas significativas consta de 6 fases. Un equipo multidisciplinario de expertos en ecoturismo, diseño y desarrollo de aplicaciones de AR desarrolló esta metodología. Esta metodología integral aborda las limitaciones de enfoques fragmentados anteriores, asegurando aplicaciones de AR efectivas, sostenibles y adaptadas al entorno natural.

IV-A. Identificación y clasificación de los recursos de interés

En la primera fase, se elabora una lista de recursos de interés turístico para cada sendero (ej., animales, plantas, volcanes, paisajes, lugares históricos). La identificación se realiza mediante investigación documental, visitas de investigadores y entrevistas a informantes clave [27].

Tras elaborar la lista, los recursos se clasifican según el esquema de la Figura 1. Las categorías temáticas se definieron mediante una revisión documental de los planes de manejo y literatura complementaria. Esta clasificación ayuda a entender la distribución y diversidad de los recursos en el ASP. Si se detecta una deficiencia en alguna categoría, se recomienda revisar la lista con expertos para determinar si es por características del contexto o por omisión de datos. La lista se refina con los resultados de esta clasificación.

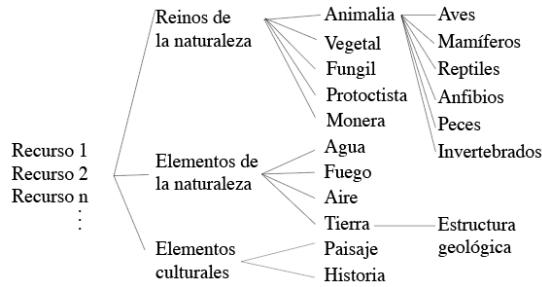


Figura 1. Clasificación de los recursos de interés.

IV-B. Determinación del Potencial Interpretativo

Esta fase del proceso consiste en generar el Índice de Potencial Interpretativo (IPI) para describir la importancia de los recursos en cada ASP. El IPI evalúa la capacidad de un sitio para transmitir información y experiencias educativas a los visitantes, siendo utilizado en sitios turísticos y áreas protegidas [28]. Para calcular el IPI, cada elemento se evalúa según 8 criterios subjetivos divididos en tres categorías: aspectos del recurso, relación con los turistas y fomento del aprendizaje, basados en estudios previos [29].

Cada recurso se evalúa en una escala de 0 a 3: 0 (mal), 1 (regular), 2 (bien) y 3 (muy bien). Esta escala facilita la diferenciación y reduce la ambigüedad, minimizando sesgos [30].

Los criterios de aspectos del recurso son: **singularidad**, **resistencia al impacto** y **estacionalidad**. La **singularidad** mide la rareza del recurso (ej., una especie endémica tiene alta singularidad). La **resistencia al impacto** evalúa cómo el contacto con turistas afecta al recurso (ej., baja resistencia si los turistas afectan negativamente los hábitats de animales). La **estacionalidad** indica la disponibilidad del recurso durante el año (ej., baja estacionalidad si solo está disponible en una temporada específica).

El **acceso a la diversidad de público** describe si el recurso permite ser explorado, por ejemplo, por personas con movilidad reducida. La **afluencia actual del público** indica el grado de interacción de los turistas con el recurso durante la visita. El **atractivo turístico** mide el interés general de los turistas al recurso (ej., un volcán activo obtiene una valoración alta porque suele atraer turistas a ciudades específicas).

Para fomento al aprendizaje, los criterios son: **representatividad didáctica** y **coherencia temática**. La **representatividad didáctica** mide la facilidad de transmitir las características del recurso (ej., turistas sin conocimientos técnicos de biodiversidad). La **coherencia temática** mide si el recurso fomenta el aprendizaje de aspectos relevantes de la ASP.

El IPI se calcula con la Ecuación 1, donde C_r son las valoraciones de cada criterio r . Para cada recurso se evalúan los 8 criterios, cada uno calificado en una escala de 0 a 3. La suma de las valoraciones da un puntaje máximo de 24 puntos (8 criterios * 3 puntos). Este puntaje se normaliza dividiendo entre 24, generando un valor de 0 a 1, asegurando una evaluación clara y estandarizada [30].

$$IPI = \frac{1}{24} \sum_{r=1}^8 C_r \quad (1)$$

$$C_r \in \{1, 2, 3\} \text{ donde } 1 \leq r \leq 8$$

Para interpretar el IPI se establecen intervalos: entre 0 y 0.2 indica falta de características interpretativas; de 0.21 a 0.4 se considera que hay rasgos insuficientes; de 0.41 a 0.6 se considera aceptable; de 0.61 a 0.8 se considera adecuado y de 0.81 a 1 se considera excepcional [27].

Se recomienda aplicar realidad aumentada (RA) a recursos con un IPI superior a 0.61 para garantizar una interpretación efectiva. Este nivel asegura que los recursos sean informativos y atractivos, facilitando la comprensión y apreciación de los valores culturales o naturales por parte de los visitantes. Integrar RA en estos contextos puede mejorar significativamente la experiencia del visitante, ofreciendo información adicional y una interacción dinámica.

Estudios respaldan que una interpretación efectiva enriquece la experiencia educativa y significativa del visitante [28], [31]. Además, usar umbrales claros y justificados para la interpretación de datos es una práctica estándar en metodologías de evaluación, como en la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas y meta-análisis [32].

IV-C. Cálculo del Índice de Aumentabilidad

Para calcular el Índice de Aumentabilidad (A_i) de cada recurso, se consideraron 9 criterios subjetivos: **idoneidad tecnológica**, **contraste**, **viabilidad biológica**, **unicidad biológica**, **accesibilidad**, **valor emblemático**, **visibilidad**, **contextualización** y **privacidad y seguridad**. Estos criterios fueron seleccionados con base en el juicio de expertos y revisión bibliográfica [33], [34], asegurando que la evaluación del A_i sea robusta y alineada con las necesidades específicas de la realidad aumentada (RA).

La **idoneidad tecnológica** evalúa la capacidad del recurso para ser mejorado o comunicado efectivamente mediante RA, integrando elementos virtuales o aprovechando características específicas de esta tecnología [35]. El **contraste** verifica si el recurso puede ser presentado con diferencias notables u oposición consigo mismo mediante RA, como variaciones entre temporadas secas y lluviosas [35]. La **viabilidad biológica** evalúa si la aumentación no representa riesgos para el recurso (ej., agotamiento) [36]. La **unicidad** se enfoca en identificar los recursos propios y difíciles de encontrar en otro lugar (ej., especies endémicas). Considera si el recurso tiene características únicas o distintivas que pueden ser comunicadas efectivamente mediante RA [36]. La **accesibilidad** determina si el recurso puede mostrarse desde diversos puntos del entorno (ej., una cascada es propia del lugar, mientras que una especie de pájaro puede habitar en todo un bosque) [37]. El **valor emblemático** evalúa su importancia cultural, histórica o simbólica que lo hacen singular y atractivo en el contexto, y cómo la RA puede amplificar su significado para el público objetivo (ej., un anfibio descubierto en una ASP).

en específico es clave en el contexto de la misma) [38]. La **visibilidad** verifica si es fácil observar el recurso durante el senderismo, ya sea por su ubicación o estacionalidad [37]. La **contextualización** examina cómo la RA puede integrarse de manera efectiva en el contexto del recurso [37]. Finalmente, la **privacidad y seguridad** asegura que se respete la privacidad y seguridad tanto del recurso como de las personas durante la interacción con la RA [37].

Para calcular el Ai de cada recurso, se sumaron las valoraciones de cada criterio C_r y se normalizó dividiéndolo entre el puntaje máximo posible, según la Ecuación 2:

$$Ai = \frac{1}{27} \sum_{r=1}^9 C_r \quad (2)$$

$$C_r \in \{1, 2, 3\} \text{ donde } 1 \leq r \leq 9$$

En la ecuación, C_r representa las valoraciones asignadas a cada criterio para el recurso, y r es cada criterio de evaluación. Se normaliza el resultado dividiéndolo entre 27 (9 criterios * 3 puntos = 27 puntos). Este máximo se deriva de la estructura de evaluación utilizada, donde cada uno de los 9 criterios se califica en una escala del 0 al 3. Esta normalización asegura consistencia y comparabilidad en los valores del Ai, facilitando una interpretación clara y estandarizada de los resultados.

El Ai utiliza la misma escala de calificación que el IPI. Para garantizar una representación efectiva mediante RA, solo se consideran recursos con un Ai superior a 0.61. Este umbral asegura la selección de recursos adecuados para la implementación de RA, optimizando los recursos tecnológicos para ofrecer una experiencia de alta calidad y consistente para los usuarios, maximizando así los beneficios de la RA [32].

IV-D. Selección de los recursos a interpretar

Para desarrollar la aplicación, se consideraron cinco aspectos clave:

1. **Selección de recursos con IPI y Ai superiores a 0.61:** Esto garantiza que los recursos seleccionados sean comprensibles, apreciables y adecuados para la RA.
2. **Identificación de puntos de detención comunes:** Se incluyeron miradores y otros puntos destacados a lo largo del sendero.
3. **Evaluación de la ubicación estratégica:** Los atractivos se situaron de manera que ofrecieran una experiencia fluida y contextualizada, sin interrumpir el flujo natural del sendero.
4. **Consideración de la temática específica de cada ASP:** Esto asegura la coherencia en la comunicación del propósito del ASP, como resaltar la importancia de los manglares en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Caño Negro.
5. **Limitación de puntos de interpretación a siete por sendero:** Basado en estudios que indican que los turistas recuerdan mejor entre cinco y siete puntos de interés tras su visita [39].

Estos aspectos aseguran que el diseño de la aplicación de RA mejore la experiencia del usuario con contenido relevante e interactivo, manteniendo la coherencia con el entorno natural y cultural de las ASP seleccionadas.

IV-E. Definición de la técnica de aumentación

Se evaluaron cinco técnicas para implementar la metáfora de aumentación en recursos con IPI y Ai mayor a 0.61 [40]:

1. **Basada en marcadores:** La cámara del dispositivo móvil reconoce una imagen estática y activa funciones en la aplicación de RA sin requerir internet [37].
2. **SLAM (Simultaneous Localization and Mapping):** Coloca objetos virtuales en el entorno real detectado y necesita conexión a internet [41]. Identifica un plano horizontal o vertical como disparador.
3. **Basada en geolocalización:** Utiliza GPS para ubicar el punto de interés y desplegar información, pero depende de una conexión a internet estable [42].
4. **Basada en superposición:** Añade elementos visuales sobre elementos físicos, reemplazando total o parcialmente la vista original con una aumentada, sin requerir conexión a internet [43].
5. **Basada en proyección:** Interactúa con superficies mediante la proyección de luz sintética. El activo digital permanece estático y vinculado a un lugar específico, sin necesidad de internet [44].

Cada técnica transforma metáforas en escenas artísticas para mejorar el valor informativo y interpretativo de los visitantes.

IV-F. Definición de la metáfora de aumentación

El equipo de diseño discute sobre los recursos seleccionados y la técnicas de aumentación que permitirán brindar información al turista y promover el ecoturismo. Mediante una lluvia de ideas y discusión se selecciona una metáfora. Posteriormente, se realiza un Journey Map [45], para especificar las interacciones del usuario y la información que brindará el sistema en cada escena. La Tabla I muestra un ejemplo de como se puede desarrollar el Journey Map. Una vez elaborado el Journey Map para la experiencia se puede empezar a hacer el diseño de los assets, animaciones y programación de la herramienta.

IV-G. Implementación

Se utilizó Unity y Vuforia para desarrollar la herramienta, aprovechando su integración para agilizar la construcción de escenas. A partir de la metáfora de la aumentación, se diseñaron elementos como audio, video y figuras en 3D. Los prototipos se mejoraron progresivamente mediante programación ágil y extrema, usando un único marcador en todas las escenas para simplificar la implementación. Finalizada la aplicación, se instalaron los marcadores en los senderos, evitando la exposición solar directa para facilitar su lectura. Algunos marcadores se colocaron en superficies existentes y otros en pedestales amigables, permitiendo su escaneo cómodo por los usuarios.

Tabla I
EJEMPLO DE JOURNEY MAP

Escena	Acción a ejecutar	Respuesta del sistema
Mapa que muestra las ubicaciones de los recursos aumentados	El usuario da Tab a un punto	Ingresará a cada recurso aumentado
Escena del Ave	El usuario puede rotar el Ave	El ave se rotará mientras se escucha su canto

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para este estudio, se seleccionaron tres ASP y cuatro senderos. Del PNVA, se analizaron los senderos Las Coladas, El Ceibo, El Mirador y la Península, con longitudes entre 1.5 y 3 km [46]. En el PNAJCB, se seleccionó el sendero Pozo Verde, de aproximadamente 3 km [47]. Estos senderos son terrestres y lineales. El sendero del RNVSMCN es un recorrido acuático con puntos de interés como la torre de observación de aves [48]. En la Fase 1, se identificaron y clasificaron 88 recursos en las tres ASP, con 82 menciones diferentes. La categoría “objetos de conservación” tuvo el mayor número de elementos. La Tabla II muestra el número de recursos por ASP según tema.

Tabla II
NÚMERO DE RECURSOS POR ÁREA SILVESTRE PROTEGIDA SEGÚN TEMA

Categoría	PNVA	PNAJCB	RNVSMCN
Aves	9	3	12
Mamíferos	14	2	12
Reptiles	2	0	3
Anfibios	0	2	0
Peces	0	0	7
Vegetal	1	3	7
Aqua	2	0	0
Estructura Geológica	4	4	0
Paisaje	1	0	0
Historia	0	1	0

La Tabla III presenta los resultados de la Fase 2, correspondiente al cálculo del IPI. Todos los recursos evaluados obtuvieron un IPI superior a 0.61, indicando su relevancia para cada sendero seleccionado. Los puntajes fueron asignados por consenso entre expertos en turismo y computación. En el PNVA, el volcán Arenal obtuvo un IPI de 1, destacándose como un recurso de gran relevancia.

La Tabla IV muestra los resultados de la Fase 3, correspondiente al cálculo del Índice de Aumentabilidad (Ai). Los valores de Ai fueron mayormente altos o muy altos, con excepción de un recurso. Los puntajes de Ai también fueron asignados por expertos en turismo y computación. Un recurso relacionado con la historia de la fundación de la ASP obtuvo un Ai medio, debido a que su adaptabilidad a la tecnología de RA podría requerir un mayor esfuerzo.

V-A. La aplicación en realidad aumentada

Se desarrollaron cuatro experiencias de realidad aumentada: *El Observatorio* y *Península* en el PNVA, *Parque del Agua* en el PNAJCB, y *Caño Negro* en el RNVSMCN. Puedes ver estas experiencias en [YouTube](#).

Tabla III
ÍNDICE DEL POTENCIAL INTERPRETATIVO POR NIVELES SEGÚN ASP

Puntaje obtenido	IPI		
	PNVA	PNAJCB	RNMVS
Muy bajo	0	0	0
Bajo	0	0	0
Medio	0	0	0
Alto	22	11	36
Muy Alto	11	2	2

Tabla IV
ÍNDICE DE AUMENTABILIDAD POR NIVELES SEGÚN ASP

Puntaje obtenido	Ai		
	PNVA	PNAJCB	RNMVS
Muy bajo	0	0	0
Bajo	0	0	0
Medio	0	1	0
Alto	24	9	36
Muy Alto	9	3	2

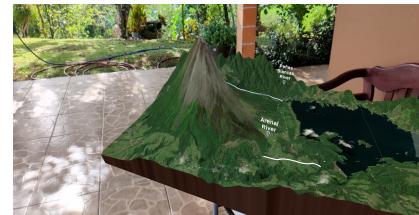


Figura 2. Recurso Hídrico en la experiencia *El Observatorio*



Figura 3. Recurso Ave Momoto en la experiencia *Península*

La Tabla V detalla los recursos aumentados, técnicas utilizadas y una breve descripción de la metáfora de aumentación para *El Observatorio*, mientras que la Figura 2 muestra “El Recurso Hídrico”, un ejemplo de recurso aumentado. La Tabla VI y la Figura 3 presentan información similar para *Península* y “El Ave Momoto”. Las Tablas VII y VIII detallan los recursos y técnicas de *Parque del Agua* y *Caño Negro*, respectivamente.

De los 28 puntos desarrollados, 27 usan la técnica de aumentación basada en marcadores y uno la detección de planos. Cada sendero incluye un punto informativo y un marco para fotos. En 18 puntos, la aumentación se enfoca en recursos de conservación específicos (puma concolor, volcán Arenal, coladas de lava de 1968, rana vibicaria, gaspar, entre otros). Se añadieron dos juegos sobre felinos y aves. Además, se utilizaron recursos complementarios como aves, felinos, mamíferos y anfibios para enriquecer la información y mejorar

la experiencia del usuario. Las escenas integran imágenes, audio, video y modelos tridimensionales para facilitar la comprensión.

Tabla V
RECURSOS AUMENTADOS DE LA EXPERIENCIA *El Observatorio*

Recurso aumentado	Técnica	Descripción/Metáfora
Información General	Marcador	Se observa un avatar de guía explicando la historia del PNVA.
Bosque estrato inferior	Marcador	Se escucha y ve el puma. Audio con información y cuidados de la fauna del bosque estrato inferior.
Bosque estrato medio	Marcador	Se escucha el y observa el pájaro cacique amarillo.
Árbol Ceiba	Marcador	Juego para calcular la altura del árbol de Ceiba. Audio con información del árbol del Ceiba
Recurso Hídrico importancia	Marcador	Se escucha el agua y se ve el volcán Arenal y el lago Arenal. Además, de las fuentes principales de agua
Coladas de Lava	Marcador	Se ven flujos de lava endurecida y se escucha el sonido e información de las coladas de lava.
Marco de Recuerdo	Superposición	Marco para tomarse fotografías con los recursos aumentados

Tabla VI
RECURSOS AUMENTADOS DE LA EXPERIENCIA *Península*

Recurso aumentado	Técnica	Descripción/Metáfora
Casetilla de información	Superposición	Se observa una casa de madera con información general e indicaciones de seguridad.
Protección del suelo	Marcador	Información de porque no darle de comer a los animales silvestres o extraer plantas.
Ave tororoi	Marcador	Información del ave y audio del contexto donde vive y su canto.
Ave Momoto	Marcador	Información del ave y audio del contexto donde vive y su canto.
Germinación de flores	Marcador	Se observan las plantas e información de la flora
Afluentes de la laguna	Marcador	Mapa del PNVA y sus características
Marco de Recuerdo	Superposición	Marco para tomarse fotografías con los recursos aumentados

V-B. Evaluación de la aplicación

La aplicación se instaló en los teléfonos móviles de los investigadores para realizar pruebas de uso con informantes clave, quienes interactuaron con la herramienta y luego participaron en entrevistas semi-estructuradas.

La evaluación se llevó a cabo presencialmente con nueve personas (expertos en turismo, funcionarios del SINAC y representantes de empresas privadas del sector turístico). El grupo estaba compuesto por cinco hombres y cuatro mujeres, todos con al menos seis años de experiencia en áreas protegidas y edades entre 21 y 50 años.

Tabla VII
RECURSOS AUMENTADOS DE LA EXPERIENCIA *Parque del Agua*

Recurso aumentado	Técnica	Descripción/Metáfora
Rana roja	Marcador	Modelo 3D de la rana roja. Se escucha su historia (la cual se creía extinta).
Historia del parque	Marcador	Avatar del guía. Cuenta historia y aspectos relevantes del parque.
Felinos	Marcador	Juego de Felinos. Modelos 3D e información de los felinos de Costa Rica. Se escucha el sonido del felino y se indica a cuál felino pertenece.
Orquídeas	Marcador	Se muestra un modelado 3D y un audio con característica de la orquídea.
Rana Vibicaria	Marcador	Se observa un modelado 3D de la Rana Vibicaria. Se escuchan características de la especie.
Pozo Verde	Marcador	Vista de Pozo Verde. Recurso no disponible para visitación por riesgo de deslizamientos.
Marco de Recuerdo	Superposición	Marco para tomarse fotografías con los recursos aumentados

Tabla VIII
RECURSOS AUMENTADOS DE LA EXPERIENCIA *Caño Negro*

Recurso aumentado	Técnica	Descripción/Metáfora
Ecosistema caño negro	Marcador	Se observa un mapa del RNVSMCN con información relevante y animales de la zona.
Guajipal	Marcador	Modelado 3D y audio con características del reptil.
Gaspar prehistórico	Marcador	Modelo 3D y audio con características del gaspar.
Jabirú	Marcador	Modelado 3D y audio con características del ave. Juego: identifica el sonido del ave.
Jaguar	Marcador	Modelado 3D y audio características del jaguar.
Comunidad dentro del caño	Marcador	Avatar de un guía ofreciendo información del RNVSMCN
Marco de recuerdo	Superposición	Marco para tomarse fotografías con los recursos aumentados

Se evaluaron nueve criterios adaptados de [49]. Cada informante indicó su grado de acuerdo: totalmente de acuerdo, de acuerdo, indiferente, en desacuerdo o totalmente en desacuerdo.

Los criterios evaluados fueron:

- Relevancia:** si la aplicación aborda temas y problemáticas significativas en el ASP.
- Mantenimiento:** si la herramienta fue diseñada para garantizar su funcionamiento continuo y eficiente.
- Significado:** la claridad y relevancia del contenido desplegado en la aplicación de RA.
- Disponibilidad:** accesibilidad de la herramienta en diferentes lugares, horarios y fechas.
- Sensitividad:** si la herramienta genera sensaciones y emociones positivas en los usuarios.
- Fiabilidad:** si la herramienta proporciona contenido válido, preciso, coherente y sin errores a lo largo del tiempo.

7. **Comparabilidad:** si los usuarios pueden identificar similitudes y diferencias entre los recursos y áreas.
8. **Referencialidad:** si los usuarios utilizan el contenido de la aplicación para expandir sus conocimientos.
9. **Apego:** la capacidad de la aplicación para establecer una conexión emocional con los usuarios.

La mayoría de los resultados fueron favorables, con siete informantes clave totalmente de acuerdo con los criterios evaluados (ver Figura 4). Como se observa en la Figura 5, el aspecto del mantenimiento tiene la calificación más baja, lo que puede entenderse como la importancia de abordar consideraciones relacionadas para garantizar el funcionamiento continuo y efectivo de la aplicación en el futuro.

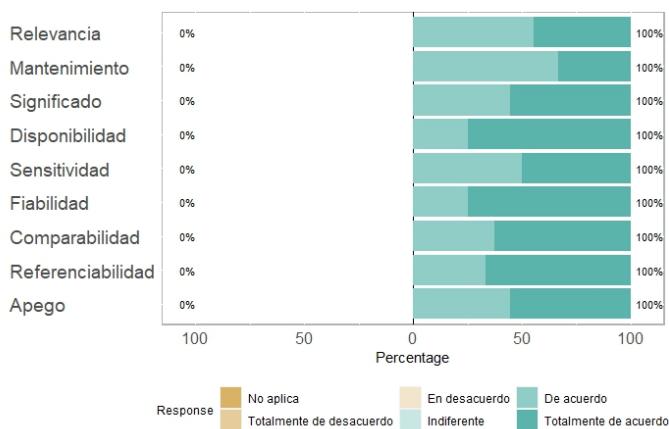


Figura 4. Gráfico de barras por criterios de evaluación de la aplicación

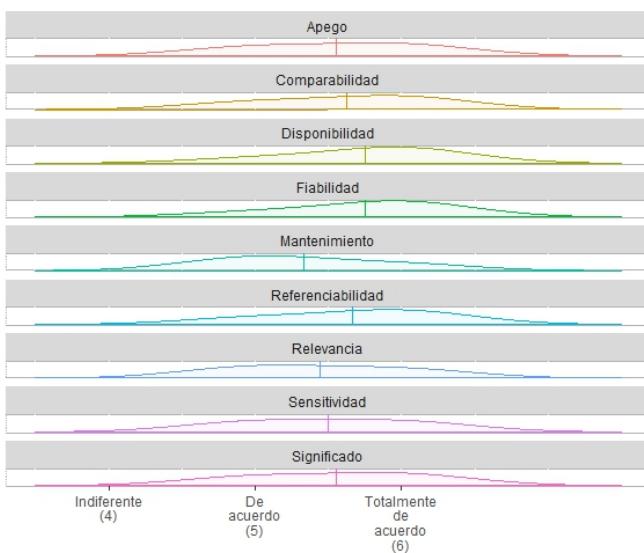


Figura 5. Gráfico de densidad por criterios de evaluación de la aplicación

CONCLUSIONES

El desarrollo de aplicaciones de RA para áreas protegidas requiere integrar conocimientos en desarrollo de software,

diseño de interacción, ecoturismo y conservación. Este enfoque multidisciplinario asegura que la aplicación no solo sea tecnológicamente avanzada, sino también efectiva en la promoción del ecoturismo y la conservación.

Es crucial la participación activa del personal de las ASP en el proceso de diseño para comprender sus necesidades y el entorno operativo. Esta integración permite adaptar la aplicación a los senderos existentes sin alterar su ruta original, garantizando una experiencia turística armoniosa que complementa el papel de los guías turísticos.

La aplicación de realidad aumentada desarrollada proporciona forma innovadora, interactiva y atractiva de comunicar información sobre los recursos naturales, sin interferir con el paisaje. Los resultados de la evaluación destacan su efectividad tanto para los visitantes como para los funcionarios de las áreas protegidas, mejorando la gestión y conservación del entorno. Mientras que la metodología propuesta para el diseño de la aplicación, permite identificar recursos interpretativos y evaluar su potencial para ser enriquecidos con realidad aumentada.

No obstante, las limitaciones de acceso a Internet en los senderos condujeron a priorizar la técnica de marcadores, lo que puede implicar restricciones visuales y de funcionalidad. Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar los recursos disponibles y considerar plataformas más accesibles para aumentar la utilidad de la aplicación.

Una vez implementada la aplicación en cada ASP, es fundamental realizar una evaluación de impacto con la participación de usuarios finales, así como pruebas de experiencia de usuario para identificar áreas de mejora y optimizar su uso. Además, se debe investigar en profundidad las variables tecnológicas que afectan el funcionamiento de los marcadores en los senderos para mejorar continuamente la experiencia del usuario.

REFERENCIAS

- [1] E. C. for Latin America and the Caribbean Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes, *Medidas de recuperación del sector turístico en América Latina y el Caribe: una oportunidad para promover la sostenibilidad y la resiliencia*. UN, 2020.
- [2] M. A. Boza, *Historia de la conservación de la naturaleza en Costa Rica: 1754-2012*. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2015.
- [3] G. Suzán, "El rol de los recursos naturales ante la pandemia por el covid-19 en América Latina y el Caribe," 2020.
- [4] D. Kim and S. Kim, "The role of mobile technology in tourism: Patents, articles, news, and mobile tour app reviews," *Sustainability*, vol. 9, no. 11, 2017. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/11/2082>
- [5] W. Strielkowski, P. Riganti, and J. Wang, "Tourism, cultural heritage and e-services: Using focus groups to assess consumer preferences," *tourismos*, vol. 7, no. 1, pp. 41–60, 2012.
- [6] B. Neuhofer, D. Buhalis, and A. Ladkin, "Smart technologies for personalized experiences: a case study in the hospitality domain," *Electronic Markets*, vol. 25, pp. 243–254, 2015.
- [7] C. Flavián, S. Ibáñez-Sánchez, and C. Orús, "The impact of virtual, augmented and mixed reality technologies on the customer experience," *Journal of business research*, vol. 100, pp. 547–560, 2019.
- [8] A. Marasco, P. Buonincontri, M. Van Niekerk, M. Orlowski, and F. Okumus, "Exploring the role of next-generation virtual technologies in destination marketing," *Journal of Destination Marketing & Management*, vol. 9, pp. 138–148, 2018.

- [9] M. E. del Moral Pérez and N. L. Bouzas, "Realidad aumentada y estimulación de la competencia socio-comunicativa en sujetos con tea: revisión de investigaciones," *RED: revista de educación a distancia*, vol. 21, no. 66, 2021.
- [10] E. S. Fernández and D. P. Alfaro, "El modelo iterativo e incremental para el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada amón_ra," *Tecnología en marcha*, vol. 33, no. 8, pp. 165–177, 2020.
- [11] M. D. G. Zamar and E. A. Segura, "La realidad aumentada como recurso creativo en la educación: Una revisión global," *Creatividad y sociedad: revista de la Asociación para la Creatividad*, no. 32, pp. 164–190, 2020.
- [12] L. L. C. Ariza, S. B. S. Mora, and S. A. C. Casadiego, "Aplicación móvil de telemedicina para pacientes hipoglucémicos y diabéticos," *Respuestas*, vol. 15, no. 2, pp. 52–62, 2010.
- [13] K. E. Solano-Camacho, "Diseño de experiencia de aplicación de realidad aumentada para visitantes del monumento nacional guayabo," Instituto Tecnológico de Costa Rica, Tech. Rep., 2021.
- [14] S. B. Conde, "Nuevas tecnologías y difusión del turismo cultural: descubriendo a goya con realidad aumentada," *Rotur: revista de ocio y turismo*, vol. 14, no. 1, pp. 81–93, 2020.
- [15] M. T. Gonzalez Pineda, "Campaña gráfica multimedia para promover turismo en los parques nacionales. caso parque nacional podocarpus," B.S. thesis, Universidad del Azuay, 2019.
- [16] J. U. Venegas, "Doctorando del tec propone usar la realidad virtual para un turismo natural más sostenible," Oct. 2020. [Online]. Available: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2020/10/15/doctorando-tec-propone-usar-realidad-virtual-turismo-natural-mas-sostenible>
- [17] N. Chung, H. Han, and Y. Joun, "Tourists' intention to visit a destination: The role of augmented reality (ar) application for a heritage site," *Computers in Human Behavior*, vol. 50, pp. 588–599, 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563215002101>
- [18] N. López-Mielgo, E. Loredo, and J. S. Álvarez, "Realidad aumentada en destinos turísticos rurales: oportunidades y barreras," *International Journal of Information Systems and Tourism (IJIST)*, vol. 4, no. 2, pp. 25–33, 2019.
- [19] G. Budowski, "Análisis y diseño de políticas forestales y de recursos naturales," *Recursos Naturales y Ambiente*, no. 37, 2002.
- [20] H. Ceballos-Lascurain *et al.*, *Tourism, ecotourism, and protected areas: The state of nature-based tourism around the world and guidelines for its development*. Iucn, 1996.
- [21] V. D. Phillips, R. Tschida, M. Hernández, and J. Zárate Hernández, "Manual para la modificación de senderos interpretativos en ecoturismo," *Oaxaca, MX. Consultado*, vol. 15, 2014.
- [22] E. Loredo, N. Mielgo, and J. Sevilla, "Realidad aumentada en destinos turísticos rurales: oportunidades y barreras," vol. 4, p. in press, 11 2019.
- [23] J. Malca, B. Carrasco, V. Guaman, B. Guevara, F. Ruiz, J. Altamirano, and P. Vinuela-Naranjo, "Artour: Augmented reality for tourism - a case study in riobamba, ecuador," 11 2019, pp. 116–123.
- [24] M. Williams, K. K. Yao, and J. R. Nurse, "Toarist: An augmented reality tourism app created through user-centred design," *arXiv preprint arXiv:1807.05759*, 2018.
- [25] M. R. Sánchez, P. R. Palos-Sánchez, and F. Velicia-Martin, "Eco-friendly performance as a determining factor of the adoption of virtual reality applications in national parks," *Science of The Total Environment*, vol. 798, p. 148990, 2021.
- [26] S. C. Pérez, A. Muñoz, M. E. Stefanoni, and D. B. Carbonari, "Realidad virtual, aprendizaje inmersivo y realidad aumentada," in *XXIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2021, Chilecito, La Rioja)*, 2021.
- [27] P. L. Rodríguez and K. Castro, "Evaluación del potencial interpretativo para el aprovechamiento turístico de los sitios destinados a la pesca vivencial de las áreas protegidas de galápagos," *European Scientific Journal*, vol. 11, no. 20, 2015.
- [28] B. R and P. J, "Using tourism free-choice learning experiences to promote environmentally sustainable behaviour: the role of post-visit 'action resources,'" *Environmental Education Research, USA*, vol. 17, no. 2, pp. 201–215, 2011.
- [29] J. Morales and I. Varela, "El índice de potencial interpretativo (ipi): Un aporte a las futuras demandas de los futuros parques ya lo que aún resta en los actuales," in *Actas del I Congreso Nacional de Parques Naturales. Sevilla: Junta de Andalucía*, 1986.
- [30] C. C. Preston and A. M. Colman, "Optimal number of response categories in rating scales: reliability, validity, discriminating power, and respondent preferences," *Acta Psychologica*, vol. 104, no. 1, pp. 1–15, 2000. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001691899000505>
- [31] S. H. Ham and B. Weiler, "Isolating the role of on-site interpretation in a satisfying experience," *Journal of Interpretation Research*, vol. 12, no. 2, pp. 5–24, 2007.
- [32] A. Liberati, D. G. Altman, J. Tetzlaff, C. Mulrow, P. C. Götzsche, J. P. A. Ioannidis, M. Clarke, P. J. Devereaux, J. Kleijnen, and D. Moher, "The prism statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration," *BMJ*, vol. 339, 2009. [Online]. Available: <https://www.bmjjournals.org/content/339/bmj.b2700>
- [33] R. L. Keeney and R. L. Keeney, *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking*. Harvard University Press, 1992.
- [34] R. S. Kaplan and D. P. Norton, *The balanced scorecard: Translating Strategy into Action*. Cambridge, Harvard College, 1996.
- [35] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence: teleoperators virtual environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, 1997.
- [36] M. Dunleavy, C. Dede, and R. Mitchell, "Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning," *Journal of Science Education and Technology*, vol. 18, pp. 7–22, 2009.
- [37] M. Billinghurst, A. Clark, G. Lee *et al.*, "A survey of augmented reality," *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, vol. 8, no. 2-3, pp. 73–272, 2015.
- [38] F. Tscheu and D. Buhalis, "Augmented reality at cultural heritage sites," in *Information and Communication Technologies in Tourism 2016*, A. Inversini and R. Schegg, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 607–619.
- [39] S. Ham, *Interpretación ambiental: una guía práctica para gente con grandes ideas y presupuestos pequeños*. North American Press, 1992. [Online]. Available: <https://books.google.co.cr/books?id=Ks5TAAACAAJ>
- [40] S. Dargan, S. Bansal, M. Kumar, A. Mittal, and K. Kumar, "Augmented reality: A comprehensive review," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 30, no. 2, pp. 1057–1080, 2023.
- [41] D. Kim, S. Chae, J. Seo, Y. Yang, and T.-D. Han, "Realtime plane detection for projection augmented reality in an unknown environment," in *2017 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP)*. IEEE, 2017, pp. 5985–5989.
- [42] T. Michel, "On mobile augmented reality applications based on geolocation," Ph.D. dissertation, Université Grenoble Alpes, 2017.
- [43] L. Lee, G. Ng, K. Tan, S. Shaharuddin, and S. Wan-Busrah, "Integrating interactive multimedia objects in mobile augmented reality for sarawak tourism," *Advanced Science Letters*, vol. 24, no. 2, pp. 1017–1021, 2018.
- [44] H. Benko, A. D. Wilson, and F. Zannier, "Dyadic projected spatial augmented reality," in *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, 2014, pp. 645–655.
- [45] B. Martin and B. Hanington, *Universal Methods of Design: 100 Ways to Research Complex Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Effective Solutions*. Beverly, MA: Rockport Publishers, 2012.
- [46] Área de Conservación Arenal Hueter Norte, "Plan de manejo 2012-2020 del parque nacional volcán arenal," 2012. [Online]. Available: [https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/PlanManejoACAHN/PlanGeneraldeManejoPNVolcnArenal\(2012\).pdf](https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/PlanManejoACAHN/PlanGeneraldeManejoPNVolcnArenal(2012).pdf)
- [47] —, "Plan general de manejo parque nacional del agua juan castro blanco," 2012. [Online]. Available: [https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/PlanManejoACAHN/PlanGeneraldeManejoPNJuanCastroBlanco\(2012\).pdf](https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/PlanManejoACAHN/PlanGeneraldeManejoPNJuanCastroBlanco(2012).pdf)
- [48] —, "Refugio nacional de vida silvestre mixto caño negro: Plan de manejo 2012-2020," 2012. [Online]. Available: [https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/PlanManejoACAHN/PlanGeneraldeManejoRNMVSCaoNegro\(2012\).pdf](https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/PlanManejoACAHN/PlanGeneraldeManejoRNMVSCaoNegro(2012).pdf)
- [49] K. Griffin, M. Morrissey, and S. Flanagan, "The trials and tribulations of implementing indicator models for sustainable tourism management: Lessons from ireland," in *Quality-of-Life Community Indicators for Parks, Recreation and Tourism Management*. Springer, 2010, pp. 201–227.