

Aplicación tecnológica para impulsar el turismo de avistamiento de aves

Technological application to promote birdwatching tourism

^a*Byron Medina-Delgado ^bWlamyr Palacios-Alvarado ^cLuis Camargo-Ariza

 a. Doctor en Ciencias byronmedina@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia

 b. Doctor en Ciencias Gerenciales wlamyrpalacios@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia

 c. Doctor en Ciencias lcamargo@unimagdalena.edu.co, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia

Recibido: Mayo 12 de 2021 **Aceptado:** Agosto 21 de 2021

Forma de citar: B. Medina-Delgado, W. Palacios-Alvarado, L. Camargo-Ariza, "Aplicación tecnológica para impulsar el turismo de avistamiento de aves", *Mundo Fesc*, vol 11, no. S6 pp. 228-240, 2021.

Resumen

Colombia tiene una gran oportunidad para implementar ofertas turísticas lucrativas y amigables con el medio ambiente con base en la observación de aves, por ser uno país donde habitan un gran número de especies. Con este tipo de turismo se podría impulsar el desarrollo de regiones apartadas y afectadas por conflicto armado. Este trabajo tiene como objetivo desarrollar una aplicación para teléfonos inteligentes que facilite y mejore la experiencia del avistamiento en turistas inexpertos e incentive esta práctica en los turistas de sol y playa. La aplicación tiene la capacidad de identificar las aves a partir de su canto. Para esto se realiza un análisis en frecuencia para caracterizar el sonido, identificando la frecuencia más baja, la más alta y las cuatro frecuencias con mayor intensidad. Para la identificación se evalúa el ancho de banda del canto y las distancias Euclidianas entre el vector que contiene la información característica del canto y la base de datos con la información del canto de las aves registradas. La aplicación tiene un asertividad en reconocimiento del 79 % y un potencial de éxito del servicio en su comercialización y uso del 68 %. Concluyendo que es posible desarrollar una aplicación, para la identificación de aves a partir de su canto, computacionalmente ligera, eficiente y exitosa, que pueda ejecutarse en dispositivos con bajas prestaciones tecnológicas.

Palabras clave: Canto de los pájaros, Espectro, Teléfonos inteligentes, TFD, TFR Turismo de naturaleza

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: byronmedina@ufps.edu.co



Abstract

Colombia has a great opportunity to implement lucrative and environmentally friendly tourist offers based on bird watching, because this is a country where a large number of species inhabit. With this type of tourism, the development of remote regions and affected by the armed conflict could be promoted. The objective of this work is develop an application for smartphones that facilitate and improve the experience of sighting in inexperienced tourists and encourage this practice in sun and beach tourists. The application has the ability to identify birds from their song. For this, a frequency analysis is carried out to characterize the sound by identifying the lowest frequency, the highest frequency and the four frequencies with the greatest intensity. For identification, the bandwidth of the song and the Euclidean distances between the vector containing the characteristic information of the song and the database with the information of the song of the registered birds are evaluated. The application has an assertiveness in recognition of 79% and a potential for success of the service in its commercialization and use of 68%. It can be concluded that it is possible to develop an application for the recognition of birds using the song, computationally light, efficient and successful that can be executed in devices with low technological features

Keywords: Birds singing, Spectrum, Smart phones, DFT, FFT, Nature tourism

Introducción

Los viajes con actividades recreativas que tienen como foco la naturaleza, son reconocidos como turismo de naturaleza. Estas actividades no deben impactar negativamente en el medio ambiente [1]. Este tipo de turismo tiene como motivación la observación y apreciación de la biodiversidad y la cultura de las poblaciones. Este sector del turismo se divide en tres subproductos: el ecoturismo que abarca el avistamiento de aves, avistamiento de ballenas y visitas a paisajes prístinos; el turismo rural que contempla el paisaje cultural de las regiones y sus actividades tradicionales; y el turismo de aventura que implica exploración, riesgo y actividad física extrema.

En Colombia hay aproximadamente más de 1900 especies, equivalente al 20 % de las especies de aves conocidas en el mundo [2]. Por lo anterior, Colombia se visiona como un destino representativo mundialmente en turismo de avistamiento de aves u orniturismo, para esto, se deben consolidar ofertas turísticas diferenciadoras, competitivas y sostenibles [3]. Este tipo de turismo podría ser el motor de desarrollo de las regiones apartadas y afectadas por el

conflicto armado colombiano [4].

Lastecnologíasdeinformaciónycomunicación pueden impulsar el avistamiento de aves con productos tecnológicos masivos como aplicaciones para teléfonos inteligentes, que facilitan y mejoran la experiencia del avistamiento, de los turistas inexpertos. Además de, incentivar el turismo de naturaleza especialmente el orniturismo en los turistas de sol y playa con contenidos llamativos. Esta investigación describe el desarrollo de una App que identifica el ave por su canto.

En la literatura científica se encuentran varias contribuciones relacionadas con la identificación y caracterización del canto de las aves. Estos trabajos normalmente usan la representación de la señal en frecuencia y tiempo para obtener parámetros que puedan ser utilizados en el método de identificación. Métodos basados en: MFCC (*Mel Frequency Cepstral Coefficients, Coeficientes Cepstrales en las Frecuencias de Mel*) [4], SOM (*Self Organizing Map, Mapa Autoorganizado*) [5], HMMS (*Hidden Markov Models, Modelo Oculto de Márkov*) y DTW (*Dynamic Time Warping, Deformación Dinámica del Tiempo*) [6], PCA (*Principal Component Analysis,*

Análisis de Componentes Principales) [7], ANN (*Artificial Neural Network, Red Neuronal Artificial*) [8], Árbol de decisión [9], DWT (*Wavelet Transform, Transformada Wavelet Discreta*) y LWAP (*Local Wavelet Acoustic Pattern, Patrón Acústico de Wavelet Local*) [10], entre otras herramientas usadas para el tratamiento de señal. Estos métodos en su mayoría son diseñados para ser implementados en computadores robustos.

En cambio, en este trabajo se presenta un método de identificación ligero que utiliza múltiples FFT (*Fast Fourier Transform, Transformada Fourier Rápida*) superpuestas para caracterizar el canto y, para la identificación, utiliza la estimación de la distancia euclidiana entre vectores. Esto con el propósito que pueda ser ejecutada en dispositivos de baja capacidad como los teléfonos móviles, sin ningún inconveniente y con una respuesta rápida para el usuario.

Materiales y métodos

Para impulsar el turismo de avistamiento de aves en Colombia, se realiza una aplicación tecnológica para ser ejecutada y distribuida en los teléfonos inteligentes de los usuarios o posibles turistas. Esta App pretende facilitar y mejorar la experiencia del avistamiento de aves, de los turistas inexpertos en este tema. Además de, incentivar el turismo de naturaleza especialmente el orniturismo en los turistas de sol y playa.

Para el desarrollo del prototipo funcional se desarrolló la siguiente metodología:

A. Diseño de la App

A partir del entendimiento de los problemas, necesidades y deseos de los usuarios, implicados en la solución y posibles usuarios, se establecen las características del entorno de la App y los requerimientos funcionales y no funcionales de la misma.

Los usos o servicios disponibles en este prototipo son: grabar audio del canto, visualizar el espectro del canto, e identificar el ave que canta. Las interfaces de usuario de esta App deben ser sencillas, intuitivas y fáciles de implementar; éstas se prototipan rápidamente, sin código, se retroalimentan con el equipo desarrollador y usuarios, se mejoran y se refinan y, posteriormente se codifican y se integran al código [11]. El escenario de la App es desconectado para garantizar que los procesos se realizan de forma correcta en el dispositivo móvil, aún cuando éste se encuentre desconectado de la red Internet [12], con esto se pueden ofrecer los servicios de la App en zonas rurales, sin cobertura de la red de telefonía móvil celular. El lenguaje de programación usado para codificar el prototipo es Java para Android, por contar con una gran comunidad de desarrolladores, ejemplos y librerías requeridas para el procesamiento de señal [13]. La información del canto de las aves se almacena en forma de preferencias de Android mediante objetos de JavaScript (JSON) como una cadena. Los JSON permiten almacenar información de forma estructurada, y facilitan el intercambio futuro de los datos en un entorno Web [14].

B. Caracterización del canto de las aves

Las aves que se podrán identificar en la App, son las aves de las cuales el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt [15] tiene disponibles los audios, con los cantos de éstas en su página Web. A estos audios se les realiza el respectivo análisis para determinar patrones que permitan caracterizar e identificar el ave.

El canto de las aves presenta silencios largos, y sonidos repetitivos ordenados y coherentes que resultan ser agradables al oído humano [16]. Estos sonidos poseen cambios bruscos en la intensidad, diferentes

tonos y armónicos y, envolventes complejas. La caracterización del canto se puede realizar en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia. El análisis en el dominio del tiempo debe mostrar la evolución de la señal durante toda su presencia, esto demanda el procesamiento de una gran cantidad de datos. El análisis en frecuencia identifica las componentes de la señal según la frecuencia en la que oscilan, dentro de un rango determinado, esto implica el manejo de menos datos.

Debido a las limitaciones de almacenamiento y procesamiento de aplicaciones móviles, se escoge la caracterización en el dominio de la frecuencia. Para esto se usa la Transformada de Fourier Discreta (*Discrete Fourier Transform, DFT*).

Primero se calcula DFT del vector del audio con el canto del ave, ver Ecuación 1. Donde $x[n]$ es el vector de entrada a analizar, N es la longitud del vector $x[n]$, $X[k]$ es la DFT de la señal $x[n]$, y f_s es la frecuencia de muestreo. Luego se estima la DFT en decibelios (dB) a escala completa (*Decibels Full Scale, dBFS*) y $Y[k]$, para definir los niveles de amplitud con base en el máximo nivel disponible, donde 0 dB es la potencia máxima que puede medir el micrófono del teléfono. Ver Ecuación 2.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{n=N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N} \quad (1)$$

$$Y[k] = 20 \log \frac{X[k]}{X_{max-possible}} \quad (2)$$

Seguidamente, se determina el ancho de banda del audio identificando la frecuencia más baja (f_{min}) y la más alta (f_{max}) con DFT mayor a -40 dB.

Posteriormente, se extraen las frecuencias con los cuatro tonos (picos) más altos de la DFT por encima de -40 dB, (f_1, f_2, f_3, f_4). Estas frecuencias se ordenan de menor a mayor sin importar el valor DFT.

Finalmente, se crea el vector con la información de la frecuencia, para caracterizar el canto del ave. Este procedimiento se realiza a los 31 ($1 \leq j \leq 31$) audios disponibles en [15]. Como se muestra en las Ecuaciones 3 y 4.

$$R_j = [f_{1_j}, f_{2_j}, f_{3_j}, f_{4_j}] \quad (3)$$

$$BW_j = [f_{min_j}, f_{max_j}] \quad (4)$$

C. Identificación del ave que canta

Para identificar el ave a partir del canto se implementa el proceso que se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1.

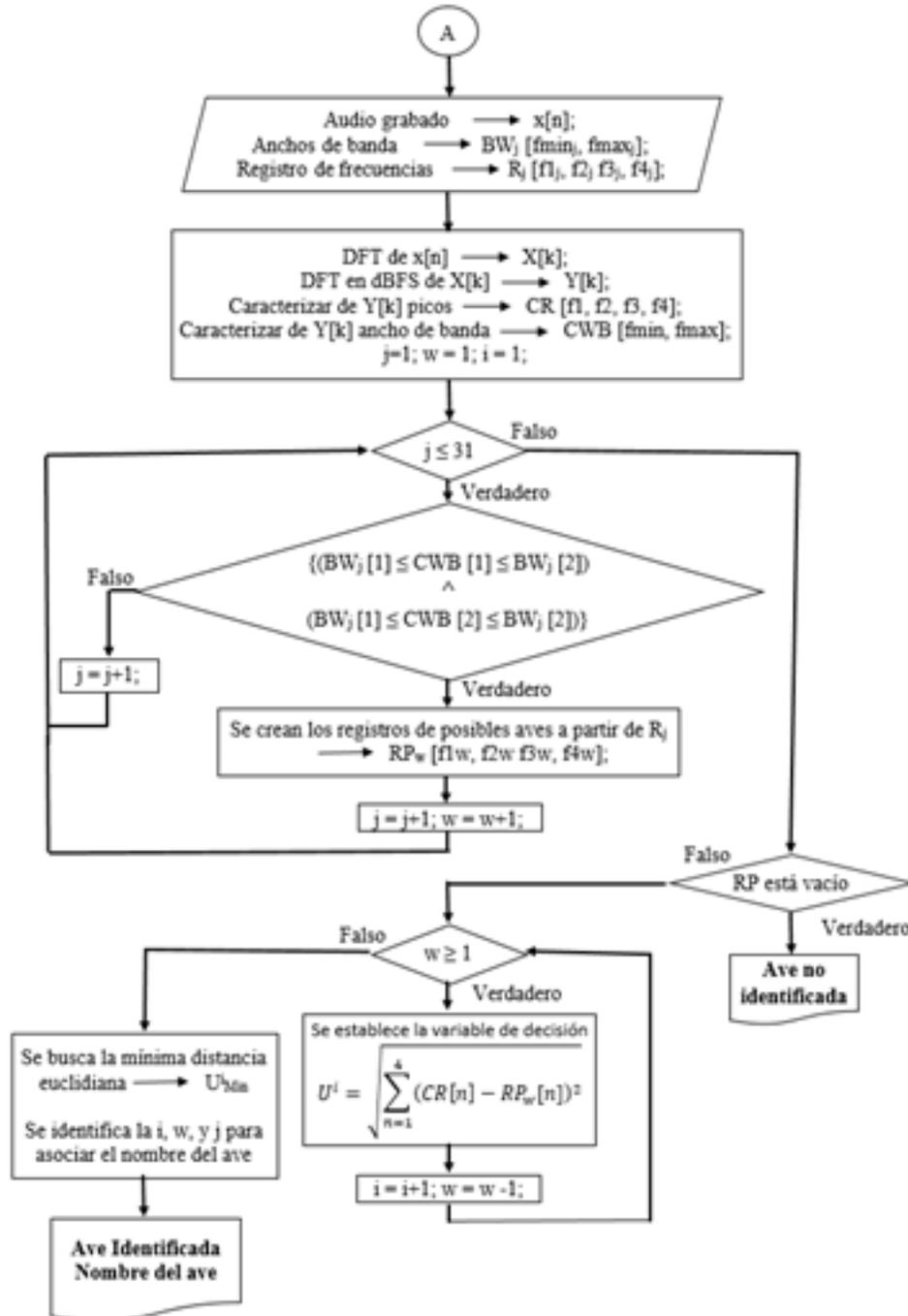


Figura 1. Algoritmo para identificar el ave con su canto

Se capta el canto del ave ($x[n]$) que se quiere identificar y luego se realiza el análisis espectral ($Y[k]$). A partir $Y[k]$ se identifican los tonos de frecuencias y se caracteriza el canto grabado, obteniendo el registro con las frecuencias más baja y más alta ($CWB [fmin, fmax]$) y, el registro de las frecuencias con los tonos de mayor amplitud ($CR [f1, f2, f3, f4]$).

Usando la información de la caracterización de los 31 cantos ($j = 31$), previamente almacenada en los registros BW_j [f_{minj} , f_{maxj}] y R_j [f_{1j} , f_{2j} , f_{3j} , f_{4j}] y, los registros CWB [f_{min} , f_{max}] y CR [f_1 , f_2 , f_3 , f_4] con la información del canto grabado, se procede a identificar el ave.

Primero, se realiza una preselección de las aves a partir de la comparación del f_{min} y f_{max} del vector CWB , y con los registros BW_j se descartan todas las aves donde su canto no se encuentre dentro de los anchos de banda registrados. Si no hay aves preseleccionadas, se retorna el valor de “ave no identificada”.

Posteriormente, se calculan las distancias euclidianas comparando los CR [f_1 , f_2 , f_3 , f_4] con todos los R_j [f_{1j} , f_{2j} , f_{3j} , f_{4j}], estableciendo la variable de decisión U para cada caso. El ave con menor valor de U se reconoce como el ave que canta.

D. Codificación de la App

La codificación de la App se realiza en el entorno de desarrollo integrado (IDE) Android Studio [17], en el lenguaje de programación Java.

Para realizar la DFT, se utiliza el algoritmo de la Transformada Fourier Rápida (*Fast Fourier Transform, FFT*), por su eficiencia computacional. Además, se realizan múltiples FFT superpuestas en frecuencia para proporcionar una mejor resolución de frecuencia.

E. Evaluación de la APP

Se valora la App a partir de la medición del grado de asertividad en la identificación y la evaluación del potencial de éxito de las 6'M.

Para medir la eficacia en la identificación, se realizan pruebas con audios de cantos de aves diferentes a los del Instituto Humboldt, se realizan varios intentos por cada especie posible de identificar, se utilizan teléfonos celulares comerciales de gama alta y media y, no se hace uso de hardware externo.

Las 6'M evalúa si el servicio de la App: está disponible en cualquier instante de tiempo, (*Moment, Momento*); se mueve con el usuario, (*Movement, Movimiento*); tiene un fin lucrativo, que favorezca al operador, al proveedor del servicio y/o al usuario, (*Money, Dinero*); cumple con las expectativas personales del usuario o puede ser personalizado, (*Me, Yo*); considera las prestaciones tecnológicas de los teléfonos y de las redes de telefonía móvil, a nivel de hardware y software, (*Machines, Máquinas*); y que el servicio puede extenderse dentro de una comunidad de usuarios, permitiendo la interacción entre ellos [18].

Resultados y Discusión

El principal resultado es el prototipo funcional de una aplicación para teléfonos inteligentes que puede identificar la avifauna. El proceso de identificación se basa en el criterio taxonómico del canto, especialmente en la cualidad del tono.

En el desarrollo de la App se obtienen los siguientes resultados:

F. Análisis espectral del canto del ave de la librería de la App

El canto del ave está compuesto por diferentes tonos de frecuencia. Para el análisis de los tonos se realiza un espectrograma usando un algoritmo con la transformada de Fourier de la App.

En la Figura 2, se muestra el espectro del canto del ave usando el software especializado Audacity [19] y la App desarrollada.

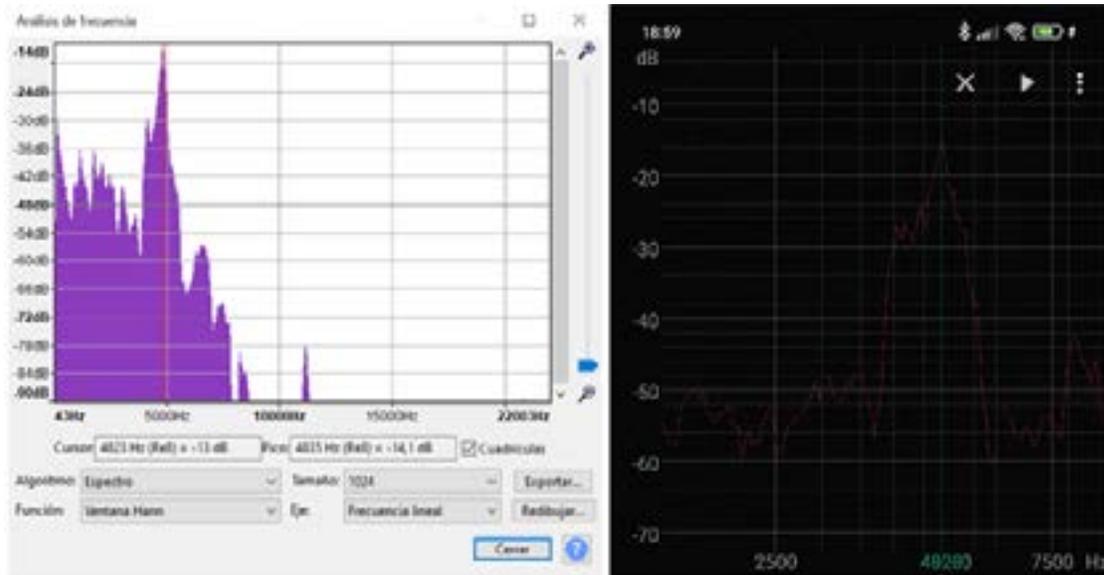


Figura 2. Comparación del análisis en frecuencia, Audacity Vs App

En las pruebas realizadas, se comparan las componentes del canto con mayor potencia, utilizando ambos softwares. La diferencia entre la frecuencia de mayor potencia obtenida con Audacity y la App desarrollada, es aproximadamente de 50 Hz. También, se puede evidenciar la poca diferencia en la forma y en las frecuencias.

Esto valida el análisis matemático realizado en la App. Estas variaciones se deben en gran parte a la diferencia entre la figura del ruido de los equipos y el número de muestra utilizadas en los algoritmos.

Utilizando el algoritmo de la App se realiza la DFT, del canto de las aves registradas en la App. Se toma cada muestra con el mismo intervalo de tiempo, 60 segundos.

En la Tabla I, se presenta la tabulación de los tonos de frecuencias con mayor potencia, la frecuencia más alta y la frecuencia más baja del canto de las aves. Se desprecian las frecuencias por debajo de -40 dB y las bandas laterales o envolventes de cada tono.

Tabla I. Información del espectro del canto de las aves.

Ave			Frecuencias significativas por encima de la capa de ruido -40 dB					
ID	Nombre Común	Nombre Científico	Las 4 primeras frecuencias con mayor potencia (ordenadas de mayor a menor)				Frecuencia más baja	Frecuencia más alta
01	El Sisonte Común o Mirla Blanca	Mimus Gilvu	3375 Hz	2227 Hz	1852Hz	1758 Hz	1523 Hz	4078Hz
02	Zafiro Colicolora	Chrysuronia Oenone	4734 Hz	6656 Hz	6694 Hz	4875 HZ	4641 Hz	6750 Hz
03	Tucancito Esmeralda	Aulacorhynchus Prasinus	1570 Hz	1465 Hz	1348 Hz	1125 HZ	1113 Hz	1594 Hz
04	Trogón Enmascarado	Trogon Personatus Sanctamartae	1477 Hz	1547 Hz	1359 Hz	1184 Hz	1078 Hz	2344 Hz
05	Periquito de Anteojos	Forpus Conspicillatus	5203 Hz	4688 Hz	5016 Hz	3984 Hz	3047 Hz	6281 Hz
06	Perdiz Colorada	Odontophorus Hyperythrus	1113 Hz	1160 Hz	1207 Hz	1383 Hz	938 Hz	2180 Hz
07	Pequeño Tinamú	Crypturellus Soui	2016 Hz	1969 Hz	1875 Hz	4031 Hz	1730 Hz	4125 Hz
08	Paloma Perdiz Roja	Geotrygon Montana	357 Hz	346 Hz	352 Hz	343 Hz	337 Hz	366 Hz
09	Pájaro Barranquero	Momotus Momota	457 Hz	450 Hz	480 Hz	439 Hz	410 Hz	475 Hz
10	Cucarachero de Pantano	Cistothorus Apolinari	2602 Hz	2461 Hz	3844 Hz	2062 Hz	1758 Hz	5250 Hz
11	Canastero Rayado	Asthenes Wyatti Sanctaemartae	3938 Hz	4359 Hz	4781 Hz	3562 Hz	3141 Hz	5391 Hz
12	La Caminera Rabiblanca	Leptotila	410 Hz	832 Hz	214 Hz	809 Hz	212 Hz	832 Hz
13	La Caminera Cabeciazul	Leptotila Plumbeiceps	328 Hz	319 Hz	668 Hz	299 Hz	293 Hz	680 Hz
14	El Colibrí Colihabano	Boissonneaua Flavescens	12562 Hz	8625 Hz	11812 Hz	10688 Hz	7875 Hz	13125 Hz
15	Inca Bronce	Coeligena	7594 Hz	8062 Hz	7312 Hz	7031 Hz	6844 Hz	8438 Hz
16	Gallina Ciega	Caprimulgus Longirostris	4828 Hz	4641 Hz	4359 Hz	4125 Hz	3891 Hz	5672 Hz
17	Conirostro Dorsiazul	Conirostrum Sitticolor	6750 Hz	7125 HZ	8062 Hz	6375 Hz	3094 Hz	9844 HZ
18	El Colibrí Rutilante	Colibri Coruscans	6750 Hz	6469 Hz	7592 Hz	3938 Hz	2531 Hz	7875 Hz
19	La Urraca de Cuello Negro	Cyanolyca Armillata	3094 Hz	3141 HZ	3000 Hz	9188 Hz	2977 Hz	9375 Hz
20	Hemispingo Capirotoado	Hemispingus Atropileus	7312 Hz	7969 Hz	8625 HZ	6750 Hz	4031 Hz	9562 Hz
21	Trepatroncos Perlado	Margarornis Squamiger	8344 Hz	8062 Hz	9094 Hz	9469 Hz	7594 Hz	9750 HZ
22	Ave Fantasma	Nyctibius Griseus	1020 Hz	891 Hz	1113 Hz	2086 Hz	773 Hz	2719 Hz
23	Turpial Toche	Icterus Chysater	1781 Hz	1852 Hz	2133 Hz	1688 Hz	1570 Hz	5578 Hz
24	Pava Negra	Aburria Aburri	1781 Hz	3469 HZ	1641 Hz	2156 Hz	785 Hz	10875 Hz
25	Búho Café	Ciccaba Virgata	609 Hz	668 Hz	691 HZ	3234 HZ	393 Hz	3375 Hz
26	Solitario Andino	Myadestes Ralloides	3094 Hz	2742 Hz	3984 Hz	4453 Hz	2484 Hz	5906 Hz
27	Cucarachero Pechigris	Henicorhina Leucophrys	2508 HZ	2344 Hz	2977 Hz	2086 HZ	1570 HZ	3469 Hz
28	Tovaca Mirla	Chamaeza Turdina	1570 Hz	1441 Hz	1383 Hz	1125 Hz	1031 Hz	1664 HZ
29	Arauco	Anhima Cornuta	1664 Hz	410 Hz	340 Hz	393 Hz	299 Hz	3422 Hz
30	El Tucán Dios Te Dé	Ramphastidae	3703 Hz	1825 Hz	3328 Hz	3469 Hz	1395 Hz	6750 Hz
31	Tucán de Montaña	Andigena Nigrirostris	1852 Hz	1781 Hz	2414 HZ	1266 Hz	598 Hz	4641 Hz

La dificultad para identificar frecuencias de la tabla, radica en que los audios disponibles no son cantos aislados de cada especie, sino en un mismo audio puede estar presente el canto de otra ave. Esto podría generar tonos no deseados y registros equivocados. Por esta razón, se utilizan solo las frecuencias por encima de los -40 dB, asumiendo que el micrófono con que se tomaron los audios es direccional y los componentes con mayor intensidad son los correspondiente a la especie analizada.

En la Figura 3, se muestran gráficamente los tatos descritos en la Tabla I, en ésta se pueden identificar fácilmente el ancho de banda del canto del ave y la distribución de los cuatro tonos con mayor potencia en esta franja.

Tabla II. Efectividad en la identificación del ave.

Ave		Aciertos	Fallos		Efectividad
ID	Nombre común		Errados	No encontrados	
01	El Sisonte Común o Mirla Blanca	7	2	1	0,7
02	Zafiro Colicolora	8	1	1	0,8
03	Tucancito Esmeralda	8	1	1	0,8
04	Trogón Enmascarado	8	1	1	0,8
05	Periquito de Anteojos	9	1	0	0,9
06	Perdiz Colorada	7	1	2	0,7
07	Pequeño Tinamú	7	2	1	0,7
08	Paloma Perdiz Roja	7	1	2	0,7
09	Pájaro Barranquero	7	1	2	0,7
10	Cucarachero de Pantano	9	1	0	0,9
11	Canastero Rayado	9	1	0	0,9
12	La Caminera Rabiblanca	5	4	1	0,5
13	La Caminera Cabeciazul	5	5	0	0,5
14	El Colibrí Colihabano	9	1	0	0,9
15	Inca Bronce	9	1	0	0,9
16	Gallina Ciega	10	0	0	1
17	Conirostro Dorsiazul	9	1	0	0,9
18	El Colibrí Rutilante	9	1	0	0,9
19	La Urraca de Cuello Negro	8	1	1	0,8
20	Hemispingo Capirotado	9	1	0	0,9
21	Trepatroncos Perlado	10	0	0	1
22	Ave Fantasma	8	1	1	0,8
23	Turpial Toche	7	2	1	0,7
24	Pava Negra	9	1	0	0,9
25	Búho Café	8	2	0	0,8
26	Solitario Andino	9	1	0	0,9
27	Cucarachero Pechigris	9	1	0	0,9
28	Tovaca Mirla	10	0	0	1
29	Arauco	8	1	1	0,8
30	El Tucán Dios Te Dé	9	1	0	0,9
31	Tucán de Montaña	7	3	0	0,7

H. Evaluación del potencial de éxito de la aplicación

Diez turistas que frecuentan el corregimiento de Minca en la ciudad Santa Marta (estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta) para ver aves, usaron el prototipo funcional de la App, en un ambiente natural y posteriormente realizaron la evaluación del potencial de éxito de las 6'M.

En la Figura 4, se muestran los resultados de la evaluación de éxito del servicio propuesto por atributo. La calificación global de la App es de 3,4 valorada como buena. Esta calificación indica que la App tendría un buen potencial de éxito si se llegara a comercializar.

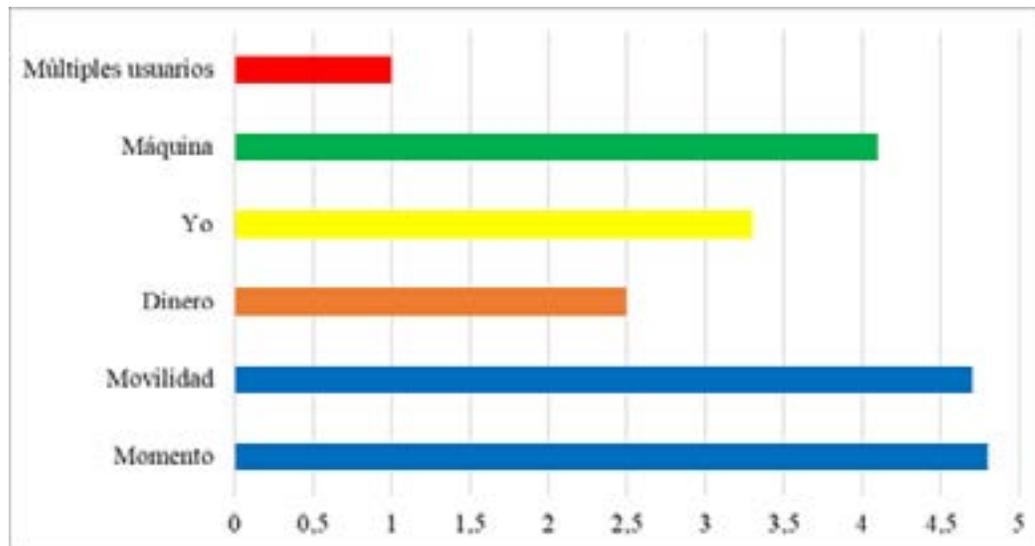


Figura 4. Promedio de los resultados de la evaluación de éxito por atributo

Los atributos más destacados y valorados como muy bueno (color azul), son los de Movilidad y Momento, el atributo Máquina es calificado como bueno (color verde), el atributo Yo es valorado como regular (color amarillo), el atributo Dinero es calificado como deficiente (color naranja) y el atributo Multi usuario es valorado como muy deficiente (color rojo).

Conclusiones

Es posible desarrollar e implementar una aplicación para teléfonos inteligentes que pueda identificar la avifauna tomando como criterio taxonómico el canto de las aves. Con un grado de asertividad de 79 % y con un buen potencial de éxito en su comercialización y uso.

La caracterización del canto del ave por medio del ancho de banda y el vector de las frecuencias con mayor potencia, usando la DFT a escala completa y un nivel de referencia de -40 dB, permitió mitigar las dificultades generadas por: el ruido provocado por otras aves, las variaciones en la duración del canto y la complejidad del canto de algunas especies. Además, redujo el número de datos requeridos para el procesamiento, en comparación con un análisis en el dominio del tiempo.

Los fallos en la identificación de las aves en la App, pueden obedecer a varias razones: se capta un reclamo y no un canto de un ave; el canto del ave puede variar drásticamente según el motivo que lo genera y la temporada del año (transmisión de información, cortejo y apareamiento, época reproductora, etc.); las aves pueden improvisar en su canto; los cantos de especies del mismo género o familia son muy similares; la relación señal a ruido es débil producto de la presencia de otras especies; las aves cantan en parejas; entre otras. Para reducir los errores en la identificación, se recomienda usar micrófonos direccionales con la misma respuesta en frecuencia en todo el espectro audible. Esto con el objetivo de aislar la señal a procesar del ruido de otras especies y no interferir en la DFT. La elección de no requerir conexión a la red Internet (escenario desconectado) para el correcto funcionamiento de la App, potencializó los atributos de Movimiento y Momento. Debido a que, el servicio de

identificación de aves puede ser utilizado al escuchar o ver el ave sin ninguna restricción de tiempo y en cualquier lugar donde se encuentre el turista, incluso en zonas muy alejadas de las ciudades donde no hay cobertura de la red de telefonía móvil. Pero dificultó la implementación de servicios que mejoraran el atributo multiusuario, porque limita la interacción con otros usuarios de la App y el compartir de archivos multimedia con información de las aves vistas.

Para prototipos mejorados, se recomienda añadir otros criterios de identificación a la variable de decisión, como son las imágenes de las aves, usando identificación de patrones con redes neuronales. Así, se potencializaría el atributo máquina, al explotar el potencial tecnológico de los teléfonos inteligentes modernos como es la cámara. También, se recomienda incluir funciones de interacción con redes sociales y otros usuarios de la App, de forma automática cuando el teléfono tenga conexión a Internet para mejorar significativamente el atributo Multi usuario. Adicionalmente, para mejorar el atributo Yo, se recomienda habilitar la caracterización y almacenamiento de registros de nuevas aves al sistema de identificación, de esta manera, el usuario puede personalizar la aplicación dependiendo de la zona geográfica y la población de especies que ésta tenga.

Referencias

- [1] V. Quintana, "El turismo de naturaleza: un producto turístico sostenible", *Arbor Ciencia, Pensamiento y Cultura*, vol. 193, n° 785, pp. 1-14, 2017
- [2] T. Donegan, J. Verhelst, T. Ellery, O. Cortés-Herrera y P. Salaman, "Revision of the status of bird species occurring or reported in Colombia 2016 and assessment of BirdLife International's new parrot taxonomy", *Conservación Colombiana*, n° 27, pp. 12-36, 2016
- [3] Colombia Productiva, «Turismo de Naturaleza, Plan de Negocios,» Mincomercio, Bogota, 2021
- [4] N. Ocampo-Peñuela y S. Winton, "Economic and conservation potential of bird-watching tourism in postconflict Colombia", *Tropical Conservation Science*, vol. 10, n° 1, pp. 1-6, 2017
- [5] C. Lee, C. Han y C. Chuang, "Automatic classification of bird species from their sounds using two-dimensional cepstral coefficients", *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 16, n° 8, pp. 1541-1550, 2008
- [6] J. Tantt, T. Jari y M. Ojanen, "Automatic classification of flight calls of Crossbill species (*Loxia* spp.)", *de Proceedings of the 1st International Conference on Acoustic Communication by Animals*, Maryland, 2003
- [7] J. Kogan y D. Margoliash, "Automated recognition of bird song elements from continuous recordings using dynamic time warping and hidden Markov models: A comparative study", *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 103, n° 4, pp. 2185-2196, 1998
- [8] J. González, J. Padrón, I. Barbero, L. Custodio y F. Merchán, "Reconocimiento de canto de aves basado en el análisis de componentes principales del espectrograma", *Revista de Iniciación Científica*, vol. 5, n° 3, pp. 124-129, 2019.
- [9] M. Sukri, U. Fadlilah, S. Saon, M. Som y A. Sidek, "Bird Sound Identification based on Artificial Neural Network", Batu Pahat, 2020
- [10] S.-S. Chen y Y. Li, "Automatic Recognition of Bird Songs Using Time-Frequency Texture", *de 5th International Conference*

- and Computational Intelligence and Communication Networks*, Mathura, 2013.
- [11] S. Hsu, C. Lee, P. Chang, C. Han y K. Fan, "Local Wavelet Acoustic Pattern: A Novel Time–Frequency Descriptor for Birdsong Recognition", *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 20, n° 12, pp. 3187-3199, 2018
- [12] L. Delgado y L. Díaz, "Modelos de Desarrollo de Software", *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 15, n° 1, pp. 37-51, 2021
- [13] M. Gasca, L. Camargo y B. Medina, "Metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles", *Tecnura*, vol. 18, n° 40, pp. 20-35, 2014
- [14] K. Wasilewski y W. Zabierowski, "A Comparison of Java, Flutter and Kotlin/ Native Technologies for Sensor Data-Driven Applications", *Sensors*, vol. 21, n° 10, p. 3324, 2021
- [15] ECMA, "Standard ECMA-404, The JSON Data Interchange Syntax", *Industry association for standardizing information and communication systems*, Switzerland, 2017
- [16] Instituto Humboldt, "Descarga en tu celular los sonidos de la Biodiversidad colombiana", 7 6 2020. [En línea]. <http://www.humboldt.org.co/es/noticias/actualidad/item/107-descarga-en-tu-celular-los-sonidos-de-la-biodiversidad-colombiana>
- [17] R. Chápuli, "¿Hay música en el canto de las aves?", *Encuentros en la Biología*, vol. 11, n° 165, pp. 21-25, 2018
- [18] Google, "Android Studio 2020.3.1", Google, Mountain View, 2020
- [19] T. Ahonen, J. Barret y P. Golding, *Services for UMTS, creating killer applications in 3G*, West Sussex: John Wiley & Sons, 2002
- [20] Audacity Team, "Audacity Version: 3.1.2", Musecy SM LTD, Pittsburgh, 2021.
- [21] Xeno-canto Foundation, "Compartiendo cantos de aves de todo el mundo", 1 6 2021. [En línea]. <https://www.xeno-canto.org/about/xeno-canto>