

# Potencialidades de los celulares inteligentes para investigaciones biológicas. Parte 2: Receptores GPS/GNSS

## Potentials of smartphones for biological researches. Part 2: GPS/GNSS receivers

Dennis Denis<sup>1\*</sup>, Daryl D. Cruz Flores<sup>2</sup>, Yarelys Ferrer-Sánchez<sup>3</sup> y Fermín L. Felipe Tamé<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biología Animal y Humana, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Calle 25, N° 455, e/ I y J, Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba. C.P. 10400. <sup>2</sup>Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. C.P. 62209. <sup>3</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. C.P. 120301. <sup>4</sup>Jardín Botánico Nacional, Universidad de La Habana, Carretera El Rocío, km 3½, Calabazar, Boyeros, La Habana, Cuba. C.P. 19230. \*Autor para correspondencia: (e-mail: [dda@fbio.uh.cu](mailto:dda@fbio.uh.cu)).

### RESUMEN

Actualmente, la tecnología de los celulares o teléfonos inteligentes ha resultado en equipos electrónicos, altamente sofisticados y con una amplia gama de sensores integrados, entre los que se encuentran los receptores GPS/GNSS. Estos se incorporaron a los celulares para desarrollar los servicios basados en ubicación, que permiten acceder a información espacial personalizada, en tiempo real, por medio de las redes informáticas. Todavía existe desconfianza sobre el valor de estos sensores para la actividad científica, pero existe un número creciente de publicaciones que los han validado para este uso. En este trabajo se hace una revisión de la literatura científica en el campo de la Ecología y las investigaciones medioambientales a nivel mundial y la postura de sus autores en relación al empleo de los sensores de ubicación presentes en los celulares inteligentes. Además de los sistemas GPS asistidos, los modelos más recientes tienen receptores multi-constelación y de doble frecuencia con precisiones similares a las de otros GPS comerciales, a nivel de pocos metros, aunque varios factores deben ser considerados, como el modelo del celular, la aplicación empleada, el lugar donde se toman las mediciones y el objetivo del trabajo. Si se siguen protocolos apropiados de validación y se selecciona cuidadosamente la aplicación para tomar los datos, se ha demostrado que estos sensores de los teléfonos inteligentes modernos pueden ser alternativas razonables y de calidad suficiente para la mayoría de los trabajos de campo en Ecología.

**Palabras clave:** brecha tecnológica, estudios de campo, tecnologías móviles

### ABSTRACT

Currently smartphones technology results in small portable devices, highly sophisticated and with a wide range of integrated sensors, among which are the GPS/GNSS receivers. This were incorporated to smartphones to developed location based services, which allows access to personalized spatial information, by informatics networks. There is still some distrust on the value of these sensors for scientific research but a growing number of papers had validated their use. In the current review we present the position of the general scientific literature in ecology and environmental fields worldwide in relation to location sensors at smartphones. Besides assisted GPS system, modern models incorporate multi-constellation and double frequency receivers with spatial precision similar to other commercial GPS, around few meters. Several factors should be taken into account such as smartphone model, measurement places and the goal of the research. By following appropriated validation protocols and carefully selecting the app to gather data, it has been demonstrated that this sensors in modern smartphones can be reasonable alternatives with enough quality for most of the field work uses in Ecology.

**Keywords:** digital divides, field studies, mobile technology

**Citación:** Denis, D., Cruz, D.D., Ferrer-Sánchez, Y. & Felipe, F.L. 2021. Potencialidades de los celulares inteligentes para investigaciones biológicas. Parte 2: Receptores GPS/GNSS. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 42: 209-216.

**Recibido:** 19 de septiembre de 2020. **Aceptado:** 25 de enero de 2021. **Publicado en línea:** 13 de agosto de 2021. **Editor encargado:** Luis Manuel Leyva.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los celulares o teléfonos inteligentes son una herramienta de uso diario en la vida de más de 3,5 billones de personas (Statista 2020). Estos equipos aparecieron en la primera década del siglo XXI, justo en el momento de la explosión en el uso de los receptores del sistema global de posicionamiento, conocidos como GPS por sus siglas en inglés (*Global Positioning System*), luego de su liberación pública. El desarrollo de la tecnología de los celulares ha resultado en equipos electrónicos altamente sofisticados, con la potencia de cálculo de una microcomputadora pequeña (Lane & al. 2010). Además de su función primaria, han englobado funciones que previamente se hacían con dispositivos dedicados (especializados en una sola función) como cámaras fotográficas, calculadoras, grabadoras,

reproductores de música o relojes. Además, incorporan una amplia gama de sensores integrados para asegurar los servicios que ofertan, entre los que se encuentran los receptores GPS.

Los teléfonos celulares se han ido incorporando gradualmente a las investigaciones de campo (Palumbo & al. 2012), pero aún existe desconocimiento de las posibilidades que estos pueden brindar y persiste en algunos sectores cierta desconfianza sobre el valor de sus sensores para la actividad científica (Denis & al. 2021) y particularmente de los GPS/GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Sin embargo, existe un número creciente de publicaciones que los han validado para el uso científico (Snaddon & al. 2013, Teacher & al. 2013).

Los equipos dedicados a tomar coordenadas geográficas pueden ser relativamente caros (aunque su precio ha disminuido progresivamente) y son más difíciles de adquirir por restricciones comerciales o legales. Sin embargo, la tecnología de posicionamiento global se ha infiltrado en muchos otros equipos de uso regular como autos, cámaras fotográficas y teléfonos celulares. Los dispositivos móviles como tabletas y celulares equipados con GPS se han vuelto de amplio uso (Nowak & al. 2020). La creciente calidad de los sensores en los teléfonos, por ejemplo, de las cámaras fotográficas, ha hecho que los celulares se conviertan en instrumentos esenciales en muchas actividades donde el empleo de equipos específicos se ha vuelto obsoleto (GSA 2019). En condiciones donde el equipamiento es limitado o existen restricciones para el uso de receptores GPS, los celulares con las aplicaciones correspondientes pueden ser alternativas eficientes que permitan sobrellevar la brecha tecnológica y aumentar la calidad de las investigaciones.

En esta comunicación se presenta la posición que la literatura científica en el campo de la Ecología y las investigaciones medioambientales a nivel mundial tiene respecto al empleo de los sensores de ubicación presentes en los celulares inteligentes. Para ello, se ejemplifican algunas de las experiencias publicadas a nivel mundial y se analizan los requerimientos que tienen los trabajos ecológicos en términos de precisión espacial.

## DESARROLLO

Los GPS se incorporaron a los celulares para desarrollar los llamados "servicios basados en ubicación" (*Location based services* - LBS), que permiten al teléfono inteligente acceder a información espacial personalizada en tiempo real por medio de las redes informáticas (Bauer 2013). Los celulares modernos, además de los receptores para estas señales, están equipados usualmente de un sistema GPS asistido (A-GPS) (Vallina-Rodríguez & al. 2013). Este es un mecanismo que emplea de forma combinada la red de telefonía celular y las señales satelitales para determinar las posiciones con mayor velocidad, lo que evita el tiempo de adquisición que requieren los GPS tradicionales antes de poder dar una ubicación (Bierlaire & al. 2013), pero a su vez sacrifica precisión (Zandbergen 2009, Zandbergen & Barbeau 2011, Massad & Dalyot 2018). El empleo de la intensidad de la señal de las torres de telefonía, claramente, solo funciona en lugares con cobertura radiofónica.

Cuando las capacidades de generación de datos de los teléfonos inteligentes se acoplan a los GPS, puede obtenerse información georreferenciada, con la cual crear mapas de variación espacio-temporal de muchos factores ambientales (Sicard & al. 2015). La mayoría de los usos actuales de las capacidades de GPS de los celulares se relacionan con el transporte, seguimiento de direcciones (Nour & al. 2016, Hofer & Retscher 2017, Vlahogianni & Barmounakis 2017, Das & Winter 2018), así como en el estudio de patrones de movimientos humanos (Glasgow & al. 2016, Lue & Miller

2019) y monitoreo sanitario (Aranki & al. 2016, Hardy & al. 2018, Obuchi & al. 2018).

Sin embargo, como ha existido la tendencia de despreciar los GPS de los celulares en investigaciones de campo, numerosos estudios se han enfocado en determinar si la precisión de estos es suficiente para considerarlos un sustituto fiable de equipos comerciales más costosos (por ejemplo: Dabove & Manzano 2014, Jones & al. 2015) (Figura 1). Se ha demostrado, en múltiples estudios, que los celulares inteligentes con la aplicación apropiada pueden brindar una funcionalidad similar a la de los GPS comerciales tradicionales (Tabla I).

La precisión depende de varios factores que deben ser considerados, principalmente: el modelo de celular, la aplicación empleada y el lugar donde se esté tomando la medición, de ahí la amplia variación de los resultados reportados. Zandbergen (2009) encontró que el error horizontal promedio de un *iPhone 3G* era de alrededor de 10 m, pero Mok & al. (2012) en otro estudio detectaron precisiones horizontales de alrededor de los 20 m. Existe un gran número de artículos sobre las precisiones de los receptores GPS/GNSS de los celulares (Tabla I) y continúan en aumento (Wu & al. 2019).

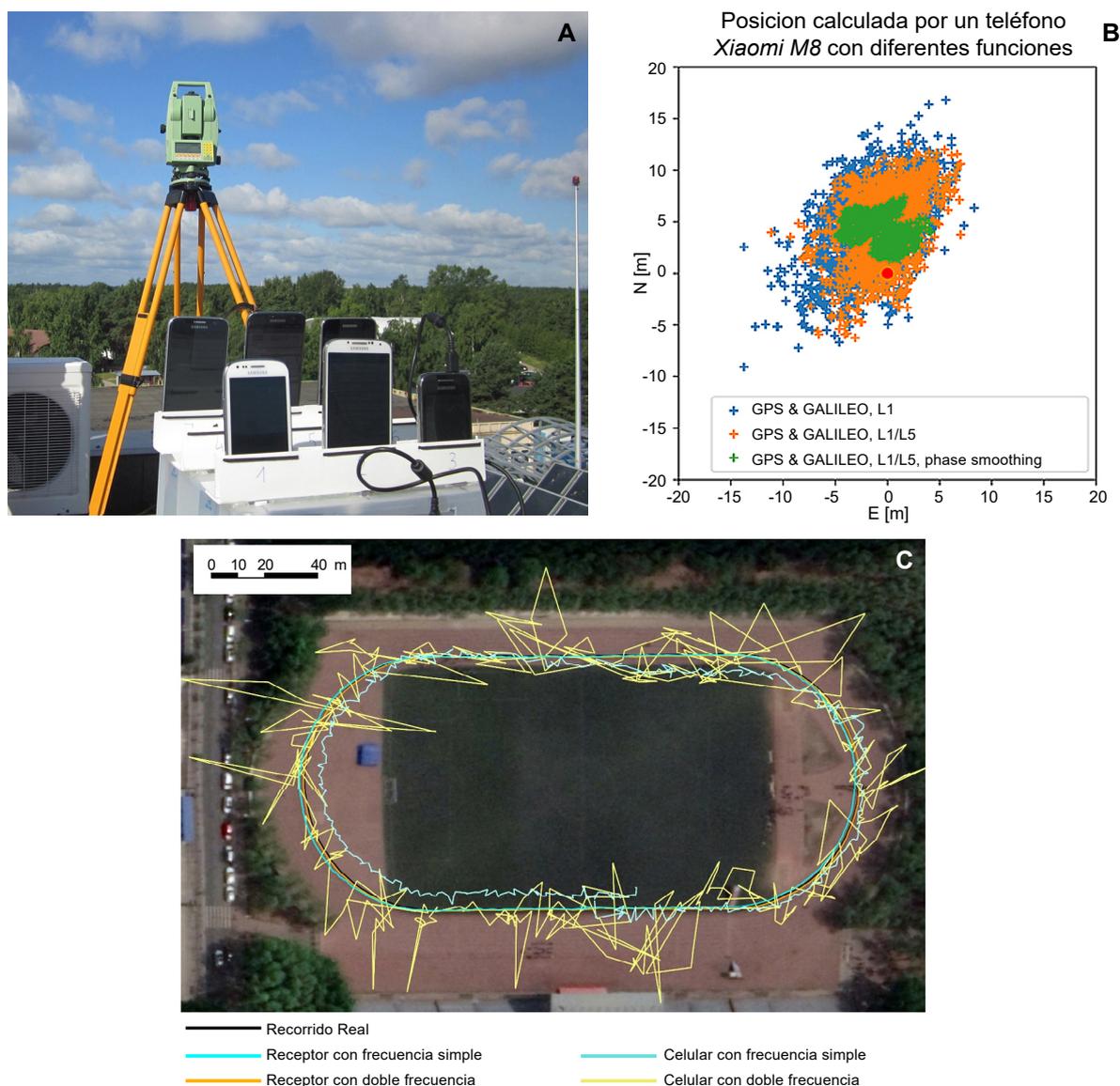
Paziewski (2020) hizo un resumen de los más recientes avances en los sensores móviles de señales GNSS, y hace notar la importancia de la actualización del sistema Android y la aparición de los *chips* de doble frecuencia y multi-constelación, en septiembre de 2017. El modelo *Samsung Galaxy Note 20* ya es capaz de recibir señales de GPS, GLONASS, BDS y Galileo (ver una descripción de los términos técnicos y las siglas en Denis & Cruz (2021)). Wu & al. (2019) aplicaron el algoritmo PPP (*Precise Point Positioning*) con las frecuencias duales GPS L1/L5 y Galileo E1/E5a para analizar la precisión del modelo *Xiaomi Mi 8* en comparación con un receptor geodético de doble frecuencia y detectaron errores inferiores a 1 m en puntos fijos. Sin embargo, cuando se emplea el modo de seguimiento (*tracking*) los valores dados por el teléfono tienen fluctuaciones relativamente fuertes, en el orden de 3-5 m (Figura 1C). La alta precisión de este modelo se debe a que la segunda frecuencia del receptor permite eliminar el retardo ionosférico de primer orden (Wu & al. 2019), que es una de las mayores fuentes de error de estos sistemas. En conclusión este estudio determinó que con este celular pueden lograrse precisiones de decímetros en modo estático, comparables con un receptor geodético, pero con un largo tiempo de convergencia.

A finales de 2018, la compañía Huawei introdujo al mercado el teléfono *Android 9 Mate 20X*, con un receptor multi-frecuencia y multi-constelación *Leica GS16*, con la capacidad de registrar el código, la fase portadora y efecto Doppler en GPS L1 & L5, GLONASS L1, Galileo E1 & E5a, Beidou y QZSS L1 & L5. En modo estático (PPP) y en condiciones de bajo error de multi-recorrido este celular puede dar coordenadas con precisiones de 1 m mediante el uso de 30 minutos de datos del sensor.

No es razonable esperar que la calidad de los datos obtenidos del GPS de un celular sea la misma que la de un equipo de grado especializado (el *Garmin GPSMAP 66* tiene un error cuadrático medio inferior a 1 m con WAAS), pero debe reconocerse que estos equipos tampoco son los empleados rutinariamente en estudios ecológicos por su alto costo, sino que se suelen emplear equipos de gama media o grado recreativo. Las mayores limitaciones de los celulares son por el propio *hardware*: el PCB (*Printed Circuit Board*) está amontonado, es decir, superpoblado el espacio de componentes electrónicos, existe ruido térmico y las antenas son linealmente polarizadas (Wu & al. 2019). Una mejora notable se puede lograr acoplando una antena externa, sin embargo,

Pesyna & al. (2014) demostraron la posibilidad de obtener precisiones a nivel de centímetros con antenas GNSS de la calidad de los teléfonos celulares. Paziewski (2020) considera que, dados los más recientes avances y la velocidad de desarrollo de la tecnología móvil, los sensores de ubicación de los celulares se equiparán a los equipos profesionales en muy poco tiempo.

La disponibilidad creciente de estos dispositivos móviles “geográficamente conscientes” y que además pueden interactuar con bases de datos centralizadas en la web y visualizar datos en un contexto geográfico, proveen de oportunidades únicas para la recolecta de muchos tipos



**Fig. 1.** Ejemplos de experimentos realizados para comprobar la precisión de los receptores GPS/GNSS bajo distintas condiciones y métodos de adquisición y procesamiento. **A.** Comparación con equipos dedicados de alta precisión (Szot & al. 2019). **B.** Dispersión en registros puntuales según número de bandas y método de procesamiento (Ragoïn & al. 2020). **C.** Posiciones en registros móviles (Wu & al. 2019).

**Fig. 1.** Examples of experiments conducted to assess accuracy of GPS/GNSS smartphones receivers under different conditions, processing and acquisition methods. **A.** Comparison with high precision dedicated receivers (Szot & al. 2019). **B.** Dispersion of registries according to band number and processing method (Ragoïn & al. 2020). **C.** Errors in positions acquired in tracking mode (Wu & al. 2019).

de datos biológicos en el campo (Lwin & Murayama 2011), sobre todo porque la información espacialmente explícita cada vez es más importante, tanto para la ciencia como para aplicaciones industriales o de negocios. Dentro del campo de la Ecología, los usos más primarios y extendidos se refieren al empleo de aplicaciones para registrar la ubicación de individuos de plantas y animales, así como el tiempo de eventos ecológicos, como la floración de las plantas.

Georreferenciar toda la información que se adquiriera en el campo, desde las observaciones, fotos, unidades de muestreo, recolectas de especímenes o recorridos, se ha hecho una

práctica de creciente importancia. Las observaciones de campo, con fotos o datos georreferenciados, pueden permitir crear mapas de las localidades de estudio (por ejemplo: *Google Maps*, *Ushahidi*), así como de otras propiedades ambientales importantes como los suelos (por ejemplo: *SoilWeb*), condiciones de iluminación (por ejemplo: *LightTracker*), niveles de agua (por ejemplo: *RiverFlows*), etc. Estos datos son esenciales en otros campos de estudio como la geografía, geología, agronomía y otras ramas de la biología. También son útiles como puntos de control en tierra para la validación de modelos o de otros productos de sensores satelitales. El análisis de los patrones espaciales

**TABLA I**

**Ejemplos de estudios realizados para evaluar la precisión del geo-posicionamiento dado por los GPS de diferentes modelos de teléfonos celulares y su comparación con receptores GPS**

**TABLE I**

**Examples of studies focused on precision assessment of geo-positioning by GPS receivers in different Smartphone models and its comparison with some models of dedicated GPS receivers**

Estudio de validación	Modelos	Precisión lograda
<b>A) Teléfonos celulares</b>		
Merry & Bettinger (2019)	iPhone 6	7-13 m
Tomastik & al. (2016)	ZTE Blade, LG G2 y Sony M4 Aqua	4,5-11,4 m
Yoon & al. (2016)	celular Android	1 m
Garnett & Stewart (2015)	iPhone 4S	6,5 m
Menard & al. (2011)	iPhone 4	<10 m (98 % de veces)
Zandbergen (2009)	iPhone 3G	10 m
Wu & al. (2019)	Xiaomi Mi 8	0,2 m (PPP) - 5 m (rastros)
Lachapelle & Gratton (2019)	Huawei Mate 20X	<1 m (0,55 en 15 m de datos)
	Samsung Galaxy Y	2,47 m
	Samsung Galaxy S3 Mini	2,46 m
Szot & al. (2019) (mediciones continuas, PPP, por 24 h)	Samsung Galaxy S4	0,70 m
	Samsung Galaxy S5	0,65 m
	Samsung Galaxy S6	5,87 m
	Samsung Galaxy S7	3,93 m
Kos & al. (2013)	Samsung Galaxy Mini	5,11-5,4 m
Dabove & al. (2019) (tiempo real, 5 min)	Huawei P10+	5,5 m (max)
Felipe (datos no publicados)	Xiaomi Redmi Note 7	3,9 m
<b>B) Receptores GPS dedicados</b>		
Specht & Szot (2016)	Garmin Edge 205	4,02 m
	Garmin Forerunner 305	7,06 m
	Pentagram P3106	2,84 m
	Qstarz BT-Q1000	2,18 m
	Wintec WBT-100	2,97 m
Duncan & al. (2013)	FRWD B100	6,8 m
	Garmin Forerunner 205	5,7 m
	Garmin Foretrex 201	5,5 m
	GlobalSat TR-203	6,3 m
	i-gotU GT-600 Logger	10,8 m
	Qstarz BT-Q1000XT	5,0 m
	StarsNavBTS-110	7,3 m

de estos datos se ha utilizado en campos tan disímiles como el monitoreo de la contaminación, el seguimiento del avance de invasiones biológicas, la mapificación de distribución de especies o el análisis de las opiniones públicas en estudios de mercado.

Son muy numerosos los artículos que describen investigaciones de campo auxiliadas por los GPS de teléfonos celulares. Turton (2017) utilizó *Collector for ArcGIS* para mapear la distribución de una abeja del género *Bombus* en el *Upper Mississippi River National Wildlife and Fish Refuge*. Müllerová & al. (2017) los utilizaron para mapear plantas invasoras y validar datos de sensores remotos. Lindgren (2017) desarrolló la aplicación móvil *Oak Tree Mapper* por el aumento de los riesgos sobre estas especies de árboles en California. Guilbaud & Guilbaud (2017) crearon una aplicación *Android* para monitorear poblaciones de mosquitos en ciudades, con un enfoque de ciencia ciudadana (*citizen science*). Kress & al. (2018) determinaron los rangos de expansión de especies de plantas nativas y exóticas mediante el empleo del *Leafsnap Mobile App*. Otras investigaciones ecológicas a largo plazo y sobre mediciones de árboles también se han apoyado en celulares equipados con GPS (Criscuolo & al. 2018, Fan & al. 2019).

Aplicaciones móviles de obtención de mapas conducidas por voluntarios, seguimientos por GPS y cuestionarios son utilizados con alta frecuencia para implementar políticas ambientales sostenibles en áreas verdes urbanas y zonas protegidas (Korpilo & al. 2017, Jurado & al. 2019, Kim & al. 2019, Muñoz & al. 2019, Barros & al. 2020). La plataforma GISCloud (<https://www.giscloud.com>) mantiene aplicaciones de proyectos para mapear las infestaciones de las polillas plaga (*Agrilus planipennis*) en la comunidad de Maple Grove en Minnesota (GISCloud 2019a), para inventariar árboles en Suecia (GISCloud, 2019b) o para acciones de reforestación en Zambia (GISCloud, 2019c).

Un aspecto importante son las aplicaciones que se empleen para la toma y procesamiento de los datos de los sensores GPS/GNSS en los celulares. Aunque inicialmente existía restricción, desde 2016, *Google API* permite el acceso a los datos crudos del GNSS para el desarrollo de aplicaciones particulares. Por esta razón, ya hay decenas de diferentes propuestas en el mercado con estos fines. Con alta frecuencia las aplicaciones de móviles descritas en la literatura ecológica son hechas a medida para propósitos o muestreos específicos. Algunos ejemplos de estas aplicaciones asociadas a programas específicos de recolecta de datos de biodiversidad, que incluyen la localización espacial, son *iNaturalist*, *Spipoll*, *eBird*, etc. (más ejemplos en Teacher & al. 2013). Nowak & al. (2020) presentan las capacidades y disponibilidad de *apps* móviles para la recolecta de datos ambientales georreferenciados, para facilitar los estudios de campo. Entre las aplicaciones de mapificación multipropósito que sugieren se encuentran *Collector for ArcGIS* (Esri 2019), *Mapit Spatial*, *QField*, *Open Data Kit* (ODK), *SW Maps*, *Locus GIS*, *Global Mapper Mobile* y *Mobile Data Collection*.

Los enfoques de ciencia ciudadana y las herramientas GIS usadas para la toma de datos coevolucionan y revolucionan la forma de diseño de proyectos y la manera en que se comunican los resultados (Shirk & al. 2012). Proyectos mundiales, como *OpenStreetMap* y *TierraWiki*, permiten la participación pública en la creación de mapas colaborativos utilizando receptores GPS de grado consumidor. Dentro de la ciencia ciudadana hay un término relacionado, que es el de *Volunteered Geographic Information* (VGI) (Goodchild 2007) que se refiere a la participación pública en la generación de información geográfica. Renombradas bases de datos globales de biodiversidad como la *Red List of Threatened Species* o el *Global Biodiversity Information Facility* con frecuencia incorporan registros obtenidos por ciencia ciudadana (Wood & al. 2015, Chandler & al. 2017) que se basan fundamentalmente en receptores GPS. Muchas de estas bases de datos *online* se basan en el estándar ABCD (*Access to Biological Collection Data* 2007) pero transferir datos hacia y desde ellas requiere cuidado en sus descripciones y en los metadatos de los métodos de adquisición, que es importante para usuarios y usos avanzados. Desafortunadamente, en todos estos proyectos hay ausencia de información sobre los errores espaciales medios de la ubicación de los objetos que es capturada con equipos GNSS, y que resultan de las deformaciones de la señal o de factores escenopoiéticos locales (Closas & al. 2009), los tipos de aplicaciones móviles, la manera en que se registran los datos y sus formatos (Nowak & al. 2020).

## CONSIDERACIONES FINALES

La respuesta a la pregunta de si puede confiarse en el GPS de los celulares para estudios de campo no es tan simple. Para ser rigurosos, la respuesta sería: depende del objetivo del trabajo, de la precisión que se necesite y su importancia, de la forma en que se tome la ubicación, de la aplicación que se emplee para tomarla y del modelo del teléfono que se utilice. Desafortunadamente, muchas veces no se está al tanto de los nuevos avances en esta tecnología, de sus aspectos técnicos básicos (ver Denis & Cruz (2021)) o de las nuevas herramientas de que pueden disponer. También se utilizan los receptores GPS/GNSS sin los ajustes necesarios para el tipo de trabajo específico que se desarrolla.

Los biólogos generalmente se apoyan en los criterios de geógrafos sobre estos aspectos técnicos. Pero los requerimientos para un trabajo de cartografía geográfica no son los mismos que para una mapificación de variables ambientales o de biodiversidad, por tanto el receptor que necesita un geógrafo no es el mismo que necesita, de forma general, un ecólogo. En estudios ecológicos los límites de los sistemas generalmente son variables y dependientes de la escala (Allen & Hoekstra 1990, Levin 1992). El borde de un manglar puede “desplazarse” decenas de metros en pocos días por un ciclón y en pocos meses se recupera. Una población de animales se mueve por un rango espacial sin límites precisos (o con límites cambiantes en escala de metros o decenas de metros). Las ubicaciones geográficas de especies que se toman para estudios complementados con información satelital, como los modelos de nicho ecológico o de distribución

espacial, no necesitan tener precisiones de metros cuando el grano de las imágenes satelitales (tamaño del pixel) es de 30, 100 o hasta 500 m. El modelo *Wordclim* de Hijmans & al. (2005), de variables bioclimáticas empleadas para modelaciones de especies tiene resoluciones mínimas de 30 s en el Ecuador que equivale a un tamaño de pixel de 0,86 km<sup>2</sup> (0,93 km x 0,93 km). La ubicación de un animal generalmente no requiere tener precisiones del nivel de metros, porque su propia movilidad y cada punto es solo una muestra de la zona donde puede ser encontrado. Como en todos los estudios, la precisión y la generalidad tienen comportamientos inversos: caracterizaciones muy precisas tienden a ser poco generalizables (Levins 1966).

Es sabido que existe una “brecha tecnológica” en los países de economías menores (Weiss & al. 2015), en los cuales la tecnología ideal en sensores de localización de alta precisión no es económicamente permisible para muchos investigadores o instituciones que estudian la biodiversidad. En su lugar, suelen utilizarse equipos de gama media, similares a los de uso recreativo o industrial, pero los equipos dedicados tampoco están tan ampliamente distribuidos, además de que las legislaciones nacionales pueden restringir o limitar su uso por razones de seguridad. Por ello, es importante aprender a hacer un uso más eficiente de las herramientas que se tienen, incluso si pudieran no ser las ideales.

También es claro que no es razonable esperar la misma precisión y confiabilidad en el servicio de un equipo dedicado que en un receptor de bajo costo, diseñado con otro objetivo central. Pero si bien hasta ahora las tecnologías implementadas en los celulares estaban limitadas a funciones básicas simples, ya tienen el potencial de ser útiles incluso en aplicaciones geomáticas de alta precisión. Sin embargo, es real también que aún no hay muchos modelos de celulares con receptores de frecuencia dual (L1/L5) y la mayoría de los receptores GNSS dentro de los teléfonos de uso común en la actualidad todavía toman las medidas recibiendo solo la banda L1, por lo que no pueden aplicar métodos diferenciales ni combinar diferentes observaciones (Dabove & al. 2015). Pero si se siguen protocolos apropiados de validación y se selecciona cuidadosamente la aplicación para tomar los datos, se ha demostrado que estos sensores de localización de los teléfonos inteligentes modernos pueden ser alternativas razonables y de calidad suficiente para la mayoría de los trabajos de campo en Ecología, que generalmente no requieren de precisiones tan altas y que pueden complementarse con aplicaciones de otros sensores como el acelerómetro, magnetómetro y giroscopio para aplicaciones de mayor precisión.

#### AGRADECIMIENTOS

A Alejandro Palmarola, que brindó su GPS para un estudio de caso con puntos de control en tierra. A los revisores anónimos y editores de la Revista del Jardín Botánico Nacional por las sugerencias para mejorar el manuscrito.

#### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

D. Denis concibió la idea original y escribió un primer manuscrito. Todos los autores condujeron la búsqueda y revisión de la literatura, aportaron contenidos y revisaron la versión final.

#### CUMPLIMIENTO DE NORMAS ÉTICAS

*Conflicto de intereses:* Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

*Consentimiento para la publicación:* Los autores han dado su consentimiento para publicar este trabajo.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCD. 2007. Access to biological collection data (ABCD). Versión 2.06. Biodiversity information standards (TDWG). <http://www.tdwg.org/standards/115>. 20 de julio de 2019.

Allen, T.F.H. & Hoekstra, T.W. 1990. The confusion between scale-defined levels and conventional levels of organization in ecology. *J. Veg. Sci.* 1(1): 5-12.

Aranki, D., Kurillo, G., Yan, P.S., Liebovitz, D.M. & Bajcsy, R. 2016. Real-time monitoring of patients with chronic heart-failure using a smartphone: Lessons learned. *IEEE Trans. Affect. Comput.* 7: 206-219.

Barros, C., Moya-Gómez, B. & Gutiérrez, J. 2020. Using geotagged photographs and GPS tracks from social networks to analyse visitor behaviour in national parks. *Curr. Issues Tourism* 23(10): 1291e1310. <https://doi.org/10.1080/13683500.2019.1619674>.

Bauer, C. 2013. On the (in-)accuracy of GPS measures of smartphones: a study of running tracking applications. *Proc. Int. Conf. Adv. Mobile Comp. Multimedia*: 335-341.

Bierlaire, M., Chen, J. & Newman, J. 2013. A probabilistic map matching method for smartphone GPS data. *Transp. Res. Part C. Emerg. Technol.* 26: 78-98.

Chandler, M., See, L., Copas, K., Bonde, A.M.Z., López, B.C. & Danielsen, F. 2017. Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring. *Biol. Conserv.* 213: 280-294. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.004>.

Closas, P., Fernández-Prades, C. & Fernández-Rubio, J.A. 2009. A Bayesian approach to multipath mitigation in GNSS receivers. *IEEE J. Select. Topics Signal Proc.* 3(4): 695-706. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2009.2023831>.

Criscuolo, L., Carrara, P., Oggioni, A., Pugnetti, A. & Antoninetti, M. 2018. Can VGI and mobile apps support long-term ecological research? A test in remote areas of the alps. Pp. 53-69. En: Bordogna, G. & Carrara, P. (ed.). *Mobile Information Systems Leveraging Volunteered Geographic Information for Earth Observation. Earth Systems Data and Models*, vol. 4. Springer. Cham, Alemania. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70878-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70878-2_3)

Dabove, P. & Manzano, A.M. 2014. GPS & GLONASS mass-market receivers: positioning performances and peculiarities. *Sensors* 14: 22159-22179.

Dabove, P., Ghinamo, G. & Lingua, A.M. 2015. Inertial sensors for smartphones navigation. *SpringerPlus* 4(834): 1-18.

Dabove, P., Di Pietra, V., Hatem, H. & Piras, M. 2019. GNSS positioning using android smartphone. Pp. 135-142. En: 5th International Conference on Geographic Information Systems Theory, Applications and Management - GISTAM Proceedings.

Das, R.D. & Winter, S. 2018. A fuzzy logic based transport mode detection framework in urban environment. *J. Intelligent Trans. Syst.* 22: 478-489.

Denis, D. & Cruz, D.D. (2021) Sobre los Sistemas Satelitales de Navegación Global: guía básica para ecólogos. Preprint. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26678.52802>

- Denis, D., Cruz, D.D., Ferrer-Sánchez, Y. & Felipe, F.L. 2021. Potencialidades de los celulares inteligentes para investigaciones biológicas. Parte 1: Sensores integrados. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 42: 77-91.
- Duncan, S., Stewart, T.I., Oliver, M., Mavoia, S., MacRae, D., Badland, H.M. & Duncan, M.J. 2013. Portable Global Positioning System receivers: static validity and environmental conditions. *Am. J. Prev. Med.* 44(2): e19–e29. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.10.013>
- ESRI (Environment Systems Research Institute). 2019. Collector for ArcGIS Overview. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/collector-for-arcgis/overview>. 20 de julio de 2020.
- Fan, G., Chen, F., Li, Y., Liu, B. & Fan, X. 2019. Development and testing of a new ground measurement tool to assist in forest GIS surveys. *Forests* 10: 643. <https://doi.org/10.3390/f10080643>.
- Garnett, R. & Stewart, R. 2015. Comparison of GPS units and mobile Apple GPS capabilities in an urban landscape. *Cartogr. Geogr. Inf. Sci.* 42: 1-8.
- GISCloud. 2019a. Mapping the emerald ash borer infestation in Maple grove (case study). <https://www.giscloud.com/blog/maple-grove-tree-inventorycase-study/>. 20 de julio de 2019.
- GISCloud. 2019b. Improving tree inspections with mobile apps for arborists (case study). <https://www.giscloud.com/blog/arborist-use-case-tree-inventoryand-inspection/>. 20 de julio 2019.
- GISCloud. 2019c. WeForest e improving the forest restoration process in Zambia with GIS cloud. <https://www.giscloud.com/blog/weforest-increasing-efficiency-and-transparency-in-forest-restoration-process-with-gis-cloud/>. 20 de julio 2020.
- Glasgow, M.L., Rudra, C.B., Yoo, E.H., Demirbas, M., Merriman, J. & Nayak, P. 2016. Using smartphones to collect time-activity data for long-term personal level air pollution exposure. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 4: 356-364.
- Goodchild, M. F. 2007. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal* 69: 211-221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>.
- GSA (European GNSS Agency). 2019. What is GNSS? <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>. 20 de julio de 2020.
- Guilbaud, C.S. & Guilbaud, T.G. 2017. Mosquito Mapper: a phone application to map urban mosquitoes. *Sci. Phone Appl. Mob. Devices.* 3: 6. <https://doi.org/10.1186/s41070-017-0018-9>.
- Hardy, J., Veinot, T.C., Yan, X., Berrocal, V.J., Clarke, P. & Goodspeed, R. 2018. User acceptance of location tracking technologies in health research: Implications for study design and data quality. *J. Biomed. Inform.* 79: 7-19. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2018.01.003>.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25(15): 1965-1978.
- Hofer, H. & Retscher, G. 2017. Seamless navigation using GNSS and Wi-Fi/IN with intelligent checkpoints. *J. Location-Based-Services.* 11: 204-221.
- Jones, T.W., Marzen, L. & Chappelka, A. 2015. Horizontal accuracy assessment of global positioning system data from common smartphones. *Appl. Geogr.* 1(1): 59-64.
- Jurado, J., Pérez, M.Y. & Serrano, D., 2019. Visitor monitoring in protected areas: an approach to Natura 2000 sites using Volunteered Geographic Information (VGI). *Geografisk Tidsskrift-Danish J. Geog.* 119(1): 69-83. <https://doi.org/10.1080/00167223.2019.1573409>.
- Kim, J., Thapa, B. & Jang, S. 2019. GPS-based mobile exercise application: an alternative tool to assess spatio-temporal patterns of visitors' activities in a national park. *J. Park Recreat. Adm.* 37(1): 124-134. <https://doi.org/10.18666/JPra-2019-9175>.
- Korpilo, S., Virtanen, T., Saukkonen, T. & Lehveavirta, S. 2018. More than A to B: understanding and managing visitor spatial behaviour in urban forests using public participation *GIS. J. Environ. Manag.* 207: 124-133. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.020>.
- Kos, S., Brcic, D. & Musulin, I. 2013. Smartphone application GPS performance during various space weather conditions: a preliminary study. Pp.: 1-4. En: Proceedings of the 21st International Symposium on Electronics in Transport.
- Kress, W.J., Garcia-Robledo, C., Soares, J.V.B., Jacobs, D., Wilson, K., Lopez, I.C. & Belhumeur, P.N., 2018. Citizen Science and Climate Change: mapping the range expansions of native and exotic plants with the mobile app Leafsnap. *BioScience* 68: 348-358.
- Lachapelle, G. & Gratton, P. 2019. GNSS precise point positioning with android smartphones and comparison with high performance receivers. Pp.: 1-9. En: 2019 IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing (ICSIDP).
- Lane, N.D., Miluzzo, E., Lu, H., Peebles, D., Choudhury, T. & Campbell, A.T. 2010. A survey of mobile phone sensing. *IEEE Comm. Magazine* 48(9): 140-150.
- Levin, S. A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73: 1943-1967.
- Levins, R. 1966. The strategy of model building in population biology. *Am. Sci.* 54(4): 421-431.
- Lindgren, A.N. 2017. Implementation of a volunteered geographic information (VGI) mobile application for plant inventory. Tesis de Maestría. California State University.
- Lue, G. & Miller, E.J. 2019. Estimating a Toronto pedestrian route choice mode using smartphone GPS data. *Travel Behav. Soc.* 14: 34-42.
- Lwin, K.K. & Murayama, Y. 2011. Web-Based GIS system for real-time field data collection using a personal mobile phone. *J. Geog. Inf. Sys.* 3: 382-389.
- Massad, I. & Dalyot, S. 2018. Towards the crowdsourcing of massive smartphone assisted-GPS sensor ground observations for the production to Digital Terrain Models. *Sensors* 18: 898.
- Menard, T., Miller, J., Mowak, M. & Norris, D. 2011. Comparing the GPS capabilities of the Samsung Galaxy S, Motorola Droid X, and the Apple iPhone for vehicle tracking using FreeSim\_Mobile. Pp.: 985-990. En: 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Washington, DC, USA.
- Merry, K. & Bettinger, P. 2019. Smartphone GPS accuracy study in an urban environment. *PLoS ONE* 14(7): e0219890. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219890>.
- Mok, E., Retcher, G. & Wen, C. 2012. Initial test on the use of GPS and sensor data on modern smartphones for vehicle tracking in dense high rise environments. Proc. Ubiquitous Positioning, Indoor Nav. Location Based Services 2012, Oct. Helsinki, Finland.
- Müllerová, J., Bruna, J., Bartalos, T. & Dvorak, P. 2017. Timing is important: unmanned aircraft vs Satellite imagery in plant invasion monitoring. *Front. Plant Sci.* 8: 887. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00887>.

- Muñoz, L., Hausner, V.H. & Monz, C.A. 2019. Advantages and limitations of using mobile apps for protected area monitoring and management. *Soc. Nat. Resour.* 32(4): 473-488.
- Nour, A., Hellinga, B. & Casello, J. 2016. Classification of automobile and transit trips from smartphone data: Enhancing accuracy using spatial statistics and GIS. *J. Transp. Geogr.* 51: 36-44.
- Nowak, M.M., Dziób, K., Ludwisiak, Ł., Chmiel, J. 2020. Mobile GIS applications for environmental field surveys: A state of the art. *Global Ecol. Cons.* <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01089>.
- Obuchi, S.P., Tsuchiya, S. & Kawai, H. 2018. Test-retest reliability of daily life gait speed as measured by smartphone global positioning systems. *Gait Posture* 61: 282-286. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.01.029>.
- Palumbo, M.J., Johnson, S.A., Mundim, F.M., Lau, A., Wolf, A.C., Arunachalam, S., Gonzalez, O., Ulrich, J.L., Washuta, A. & Bruna, E.M. 2012. Harnessing smartphones for ecological education, research, and outreach. *Bull. Ecol. Soc. Am.* 93(4): 390-393.
- Paziewski, J.D. 2020. Recent advances and perspectives for positioning and applications with smartphone GNSS observations. *Meas. Sci. Technol.* 31: 091001. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab8a7d>.
- Pesyna, K.M.J., Heath, R.W. J. & Humphreys, T.E. 2014. Centimeter positioning with a smartphone-quality GNSS antenna. Pp.: 1568-1577. En: Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Tampa, Florida, USA.
- Ragoín, C., Renaudin, V. & Ortiz, M. 2020. Precise positioning on smartphones: which implementation strategy to adopt? Pp.: 1-12. En: 4th GNSS Raw Measurements Taskforce Workshop.
- Shirk, J.L., Ballard, H.L., Wilderman, C.C. & Phillips, T. 2012. Public participation in scientific research: a framework for deliberate design. *Ecol. Soc.* 17(2): 29. <https://doi.org/10.5751/ES-04705-170229>.
- Sicard, C., Glen, C., Aubie, B., Wallace, D., Jahanshahi-Anhuhi, S., Pennings, K., Daigger, G.T.; Pelton, R., Brennan, J.D. & Felipe, C.D.M. 2015. Tools for water quality monitoring and mapping using paper-based sensors and cell phones. *Water Res.* 70: 360-369.
- Snaddon, J., Petrokofsky, G., Jepson, P. & Willis, K. J. 2013. Biodiversity technologies: tools as change agents. *Biol. Lett.* 9: 20121029.
- Specht, C. & Szot, T. 2016. Testing methodology for gnss receivers used in sports and recreation. outline of issues. Pp. 246-259. En: Niznikowski, T., Sadowski, J. & Starosta, W. (ed.). Coordination abilities in physical education sports and rehabilitation. Biala Podlaska: Jozef Pilsudski University of Physical Education, Warsaw Faculty of Physical Education and Sport. Polonia.
- Statista, 2020. <http://www.statista.com>. 12 de agosto de 2020.
- Szot, T., Specht, C., Specht, M. & Dabrowski, P.S. 2019. Comparative analysis of positioning accuracy of Samsung Galaxy smartphones in stationary measurements. *PLoS ONE* 14(4): e0215562. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215562>.
- Teacher, A.G.F., Griffiths, D.J., Hodgson, D.J. & Inger, R. 2013. Smartphones in ecology and evolution: a guide for the app-rehensive. *Ecol. Evol.* 3(16): 5268-5278.
- Tomastik, J.Jr., Tomastik, J.Sr., Salon, S. & Piroh, R. 2016. Horizontal accuracy and applicability of smartphone GNSS positioning in forests. *Forestry* 90: 187-198.
- Turton, M. 2017. Using ArcGIS collector for non-lethal bumble bee data collection on the upper Mississippi River National wildlife and fish Refuge. <https://ecos.fws.gov/ServCat/DownloadFile/156527>. 25 de agosto de 2019.
- Vallina-Rodríguez, N., Crowcroft, J., Finamore, A., Grunenberger, Y. & Papagiannaki, K. 2013. When assistance becomes dependence: characterizing the costs and inefficiencies of A-GPS. *GetMobile* 17: 3-14.
- Vlahogianni, E.I. & Barmounakis, E.N. 2017. Driving analytics using smartphones: Algorithms, comparisons and challenges. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 79: 196-206.
- Weiss, J.W., Gulati, G.J., Yates, D.J. & Yates, L.E. 2015. Mobile broadband affordability and the global digital divide, an information ethics perspective. Pp.: 2177-2186. En: 48th Hawaii International Conference on System Sciences, Koloa, Kauai, HI, USA. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2015.261>.
- Wood, J.S., Moretzsohn, F. & Gibeaut, J. 2015. Extending marine species distribution maps using non-traditional sources. *Biodivers. Data J.* 3: e4900. <https://doi.org/10.3897/BDJ.3.e4900>.
- Wu, Q., Sun, M., Zhou, C. & Zhang, P. 2019. Precise Point Positioning Using Dual-Frequency GNSS Observations on Smartphone. *Sensors* 19: 2189. <https://doi.org/10.3390/s19092189>.
- Yoon, D., Kee, C., Seo, J. & Park, B. 2016. Position accuracy improvement by implementing the DGNSS-CP algorithm in smartphones. *Sensors* 16: 910. <https://doi.org/10.3390/s16060910>.
- Zandbergen, P.A. 2009. Accuracy of iPhone locations: a comparison of assisted GPS, WiFi and cellular positioning. *Trans. GIS.* 13: 5-26.
- Zandbergen, P.A. & Barbeau, S.J. 2011. Positional accuracy of assisted GPS data from high-sensitivity GPS-enabled mobile phones. *J. Navig.* 64: 381-399.
- Zandbergen, P.A. & Barbeau, S.J. 2011. Positional accuracy of assisted GPS data from high-sensitivity GPS-enabled mobile phones. *J. Navig.* 64: 381-399.