

# A control algorithm of GPS modules activation for energy saving purposes in portable devices for epidemiological studies

José Saldaña<sup>1</sup>, Sergio Rabanal<sup>1</sup>, Sergio Salas<sup>1</sup>, Kalun Lau<sup>1</sup>, Guillermo Kemper<sup>1</sup>,  
Christian del Carpio<sup>1</sup>, Gabriel Carrasco<sup>2</sup>, Pierre Padilla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Perú,  
u201415123@upc.edu.pe, u201311681@upc.edu.pe, pcelssal@upc.edu.pe, pcelklau@upc.edu.pe,  
pcelgkem@upc.edu.pe, pcelcdel@upc.edu.pe.com

<sup>2</sup>Laboratorio de Innovación en Salud, Instituto de Medicina Tropical “Alexander Von Humboldt”, Perú,  
gabriel.carrasco@upch.pe, ppadilla1703@gmail.com

*Abstract— This paper proposes an algorithm oriented towards saving energy in portable devices for epidemiological studies, in order to increase the autonomy and amount of information required to improve the quality of the research and studies involved. The proposed algorithm acquires information from a GPS module, an inertial measurement unit IMU, a temperature sensor and a humidity sensor. First, the algorithm determines GPS activation if the IMU shows movement of the monitored person or object. Once the GPS is activated, the positioning data is acquired at a certain accuracy and acquisition frequency. Then, the algorithm will modify the operating demand conditions of the GPS module, based on the detection of the temperature and humidity in environmental scenarios with high probability of tropical diseases. Validation tests were performed with a portable device developed with the indicated sensors and modules, evaluating the autonomy of this with the implementation of the proposed algorithm and without it. The results showed an increase in autonomy, that is equivalent to an additional 2 days of monitoring.*

*Keywords— GPS, tropical diseases, autonomy, energy saving, IMU, environmental parameters, monitoring.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.128>  
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

# Un algoritmo de control de activación de módulos GPS para fines de ahorro de energía en dispositivos portátiles orientados a estudios epidemiológicos

José Saldaña<sup>1</sup>, Sergio Rabanal<sup>1</sup>, Sergio Salas<sup>1</sup>, Kalun Lau<sup>1</sup>, Guillermo Kemper<sup>1</sup>,  
Christian del Carpio<sup>1</sup>, Gabriel Carrasco<sup>2</sup>, Pierre Padilla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Perú,  
u201415123@upc.edu.pe, u201311681@upc.edu.pe, pcelssal@upc.edu.pe, pcelklau@upc.edu.pe,  
pcelgkem@upc.edu.pe, pcelcdel@upc.edu.pe.com

<sup>2</sup>Laboratorio de Innovación en Salud, Instituto de Medicina Tropical “Alexander Von Humboldt”, Perú,  
gabriel.carrasco@upch.pe, ppadilla1703@gmail.com

**Resumen.** - El presente trabajo propone un algoritmo orientado al ahorro de energía en dispositivos portátiles destinados a estudios epidemiológicos, con el fin de incrementar la autonomía y la cantidad de información requerida para la mejora de la calidad de las investigaciones y los estudios involucrados. El algoritmo propuesto adquiere información de un módulo GPS, una unidad de medición inercial IMU, un sensor de temperatura y un sensor de humedad. En primer lugar, el algoritmo determina la activación del GPS si el IMU evidencia movimiento de la persona u objeto monitoreado. Una vez activado el GPS, se procede a adquirir los datos de posicionamiento a una determinada frecuencia de adquisición y precisión. Luego el algoritmo modificará las condiciones de exigencia de operación del módulo GPS en función de la detección de escenarios ambientales de temperatura y humedad que puedan ser sospechosos de presencia de alguna enfermedad tropical. Para la validación se realizaron pruebas con un dispositivo portátil desarrollado con los sensores y módulos indicados, evaluando la autonomía de este con y sin la implementación del algoritmo propuesto. Los resultados obtenidos evidenciaron un incremento de la autonomía, lo cual equivale a un tiempo adicional de 2 días de monitoreo.

**Keywords:** GPS, enfermedades tropicales, autonomía, ahorro de energía, IMU, parámetros ambientales, monitoreo.

## I. INTRODUCCIÓN

El uso de dispositivos de monitoreo y geolocalización para la realización de estudios epidemiológicos cada vez es mayor, debido a la influencia de las actividades cotidianas y los viajes realizados por las personas en la transmisión de enfermedades tropicales tales como la malaria, zika y chikunguña. Según el Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades del Ministerio de Salud del Perú, los casos de enfermedades como la malaria y el dengue han ido en aumento en los últimos años, llegando a 55210 casos de malaria en el año 2017[1]. Debido a ello, se ha realizado múltiples estudios relacionados a la expansión de estas enfermedades, como el estudio realizado por Gabriel Carrasco y otros, de título “Micro epidemiology and spatial heterogeneity of *P. vivax* parasitemia in riverine communities of the Peruvian Amazon” publicado en el 2017, el cual emplea el GPS Garmin’s GPSMAP 60CSx, para la recolección de datos relacionados al desplazamiento de las personas en las comunidades que se encuentran en alerta

sanitaria [2]. La precisión de estos GPS ha generado que sean aceptados y utilizados a nivel mundial para este tipo de estudios; sin embargo, el alto consumo de energía de estos ocasiona que el tiempo de vida de la batería no permita registrar las actividades cotidianas de las personas por 5 o más días. La poca autonomía de estos dispositivos genera que los estudios epidemiológicos se vean limitados en cuanto al periodo de recolección de datos, sobre todo en aquellas comunidades que no cuentan con energía eléctrica necesaria para la recarga de la batería de estos. Ante esta problemática existen algoritmos para reducir el consumo de energía que presentan los GPS, los cuales utilizan otras tecnologías como Wi-Fi Positioning System (WPS), Global System for Mobile Communications Positioning System (GSMPS) y el uso de un acelerómetro; para que, al trabajar en conjunto, logren reducir la frecuencia de uso del GPS.

Jeongyeup et al. propone por ejemplo en [3] un método, denominado Rate-Adaptive Positioning System (RASP), el cual utiliza un acelerómetro para detectar el movimiento, estimar el desplazamiento realizado por el usuario y almacenar los datos con la fecha y hora correspondientes; además, utiliza la comunicación bluetooth para pedir información de la ubicación actual a dispositivos cercanos. El método propuesto controla la frecuencia de encendido del GPS con la finalidad de reducir el consumo de batería de los celulares inteligentes; sin embargo, depende del historial de actividades registradas anteriormente por el usuario para definir en qué lugares no se encuentra disponible la información GPS y de la disponibilidad de los usuarios a compartir su información por bluetooth con otros dispositivos, lo cual podría implicar un problema de seguridad para las personas.

Thomas Olutoyin Oshin y Stefan Poslad proponen en [4] una técnica denominada Low Power Accelerometer Assisted Location Sensing (LALS), la cual consiste en el reconocimiento de las transiciones de las actividades del usuario de “inmóvil” a “en movimiento” y de “en movimiento” a “inmóvil” con la finalidad de reducir el consumo de batería de los celulares, manteniendo la precisión de los datos de ubicación. Para determinar la actividad del usuario, se extraen 6 características de la magnitud del vector de señal del acelerómetro; con lo cual se controla el encendido del GPS,

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.128>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

obteniendo un ahorro de energía de hasta un 53%; cabe resaltar que este método no utiliza ningún filtro, lo cual reduce la carga computacional y por tanto aumenta la autonomía del dispositivo.

Hossein Khadem Sohi et al. propone en [5] un método que fusiona las señales GPS y las señales de un Sistema de Navegación Inercial (INS), el cual comprende un acelerómetro y un giroscopio, con la finalidad de reducir el consumo de energía de los celulares inteligentes. El INS determina la trayectoria del usuario por periodos de tiempo y reduce su error en base a los datos tomados periódicamente por el GPS y el uso de un filtro Kalman extendido de seguimiento. El uso de este método mejora la precisión de la trayectoria, en comparación con estudios similares, en un 35%; sin embargo, la constante actualización de los parámetros del filtro empleado implica una considerable carga computacional, lo cual puede influir en el consumo de energía de un sistema embebido orientado a un bajo consumo energético.

Como se puede observar, los métodos existentes presentan un enfoque orientado al ahorro de energía en teléfonos celulares, controlando el encendido del GPS en base a la estimación de la trayectoria del usuario o la detección de movimiento realizada principalmente por un acelerómetro. Sin embargo, debido a que estos dispositivos son usados mayormente en zonas urbanas para actividades cotidianas; no se toma en cuenta la influencia de parámetros ambientales, los cuales presentan relevancia en estudios epidemiológicos, para determinar el nivel de precisión que se espera de los datos obtenidos del GPS y por tanto controlar el tiempo que permanecerá encendido el módulo en base a la precisión obtenida.

El algoritmo propuesto en este trabajo utiliza una Unidad de Medición Inercial (IMU) para determinar la frecuencia de encendido del GPS, en base a la detección de movimiento del usuario durante periodos establecidos utilizando el método explicado en [4]. Luego, se enciende el GPS y se recibe datos hasta obtener una ubicación, la cual debe tener un nivel de precisión determinado por la probabilidad de presencia de una enfermedad tropical, la cual se incrementa a determinados rangos de temperatura y humedad ya establecidos en estudios epidemiológicos realizados como los presentados en [1] y [6].

El algoritmo propuesto aumenta la autonomía del dispositivo hasta en 2 días, estableciendo una frecuencia mínima de encendido del GPS de 10 minutos. Esto permitirá apreciar y registrar sin errores la trayectoria realizada por un usuario durante los días en que llevó puesto el dispositivo, adicionando los datos de temperatura y humedad de los lugares recorridos.

## II. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO PROPUESTO

El diagrama de bloques del algoritmo propuesto se muestra en la Fig. 1. Las partes del diagrama se describen en las siguientes etapas.

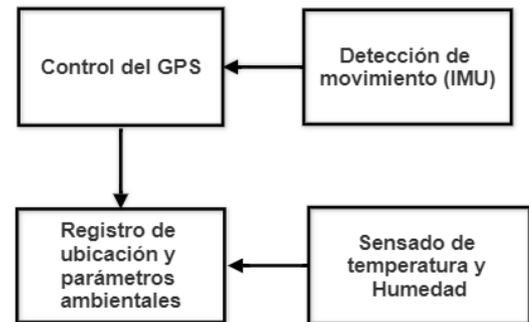


Fig 1. Diagrama de bloques del algoritmo propuesto.

### A. Sensado de temperatura y humedad

La etapa de sensado de temperatura y humedad utiliza el sensor SHT10, el cual permanece de forma automática en modo inactivo, con un consumo máximo de 1.5  $\mu$ A, excepto en los momentos en que se realice la medición de algún parámetro climático, previamente solicitado por el microcontrolador, etapa durante la cual consume máximo 1 mA. Para la comunicación con este sensor, se utilizó el protocolo especificado en la hoja de datos del fabricante [7] y se aplicó los factores de corrección para la no linealidad del sensor de humedad, la compensación de humedad para temperaturas muy diferentes de 25°C y la corrección de la temperatura según el voltaje de alimentación del sensor, explicados en [7]. El diagrama de flujo mostrado en la Fig. 2 resume la etapa del algoritmo encargada del sensado de temperatura y humedad.

La secuencia de bits que permite establecer comunicación con el sensor SHT10 se especifica en [7]; además, allí se indica la secuencia de bits que envía el sensor para confirmar la correcta recepción de la instrucción; en caso no se reciba estos bits durante un lapso de 5 segundos, se establece que la temperatura y humedad registrada es igual a 0, para que no se considere esta medición dentro del rango de alta probabilidad de presencia de malaria y se pueda diferenciar notoriamente de los datos correctos tomados en otros intervalos de tiempo. En caso se haya recibido los bits de confirmación por parte del sensor, se espera a que se realice la medición durante un plazo máximo de 5 segundos; si no se recibe el bit de confirmación de medición, se establece que la temperatura y humedad registrada es igual a 0; en caso contrario, se lee los bits correspondientes al parámetro climático solicitado.

A continuación, se valida que los datos obtenidos no hayan variado de forma notoria con respecto a la última medición realizada, 5°C con respecto a la temperatura y 10% con respecto a la humedad relativa, ya que el intervalo de tiempo entre cada medición es de 10 minutos, lapso durante el cual no es común una variación tan significativa en los parámetros climáticos estudiados. Si se supera uno de los umbrales mencionados, se establece que la temperatura y humedad registrada es igual a 0; en caso contrario, se almacena la temperatura y humedad obtenida.

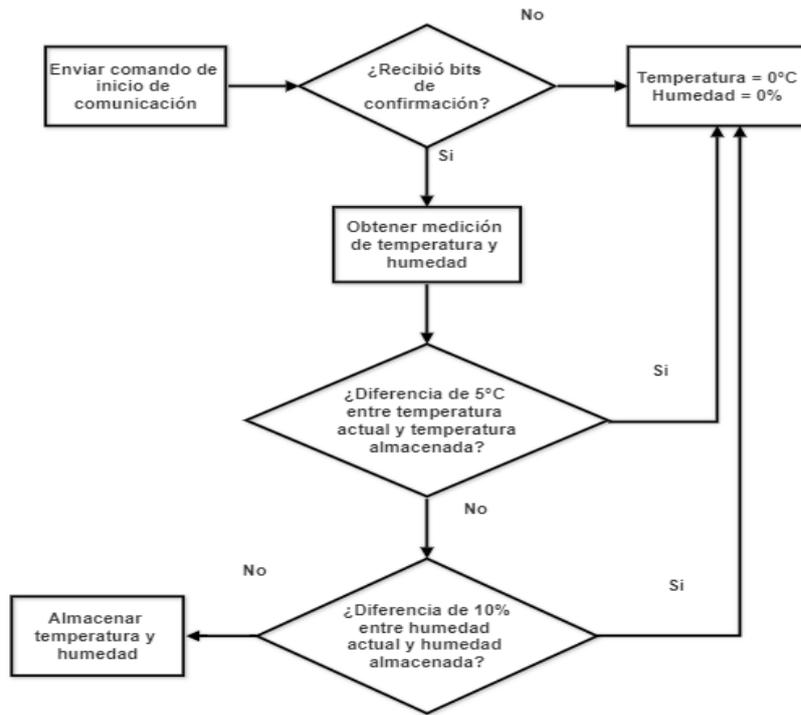


Fig 2. Diagrama de flujo de la etapa de sensado de temperatura y humedad.

### B. Detección de Movimiento (IMU)

La etapa de detección de movimiento utiliza el IMU MPU 6050 para obtener la aceleración en los ejes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  que permite determinar si el usuario lleva puesto el dispositivo. Cabe resaltar que para disminuir el consumo de energía del IMU, se quitó el led que viene integrado en el módulo, el cual consume aproximadamente 1 mA, y se desactivó los componentes adicionales como el giroscopio y el sensor de temperatura; además, se configuró el dispositivo en el modo de bajo consumo que reduce la frecuencia de funcionamiento a 1 Hz, logrando un consumo de 10  $\mu$ A. El consumo total de la presente etapa es de aproximadamente 80  $\mu$ A, debido a que existe un consumo de energía causado por el regulador de voltaje del MPU 6050. Los comandos de configuración para desactivar el giroscopio, el sensor de temperatura y establecer el modo de bajo consumo se describen en [8]. El diagrama de flujo mostrado en la Fig. 3 resume la etapa del algoritmo encargada de la detección de movimiento.

El método empleado en el presente algoritmo se basa en lo propuesto en [4], variando la frecuencia de toma de datos del IMU de 0.25 Hz a 1 Hz y analizando un vector de 30 muestras en lugar de 8 muestras, lo cual modificará el valor de los umbrales de detección presentados en el método mencionado. El comando de inicio de comunicación envía la dirección del registro que se desea leer, en este caso el registro 0x3B, que corresponde a la aceleración en el eje  $X$ ; a continuación, se lee los 6 registros que contienen los datos de aceleración en los 3 ejes y se calcula el módulo de la aceleración mediante (1).

$$mod = \sqrt{AcelX^2 + AcelY^2 + AcelZ^2} \quad (1)$$

Donde:  $mod$  es el módulo de la aceleración y  $AcelX$ ,  $AcelY$ ,  $AcelZ$  son las aceleraciones en los ejes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  respectivamente.

Se almacena cada valor de  $mod$  en un vector llamado  $v_{acel}$  hasta que se haya obtenido 30 muestras; el tiempo entre cada lectura de los valores de aceleración es de 1 segundo, debido al modo de bajo consumo explicado anteriormente. Cabe resaltar, que en caso haya transcurrido 60 segundos desde la primera lectura sin que se haya completado las 30 lecturas, se tomará como un error de lectura, lo cual actualizará el valor de la variable movimiento a 0 (0: No hay movimiento 1: Hay movimiento).

Luego de haber obtenido las 30 muestras, se halla la cantidad de máximos y mínimos locales del vector de módulos  $v_{acel}$ , eligiendo un máximo local o un mínimo local como un valor con una diferencia mínima de 0.2 con respecto a los valores vecinos, este umbral se eligió debido a la presencia de ruido y la ausencia de un filtro en el algoritmo, lo cual provocó que en ocasiones el acelerómetro detecte pequeñas variaciones pese a estar en reposo. Mediante (2), (3), (4) y (5) se obtiene la cantidad de máximos y mínimos locales, mientras que en (6) se calcula el valor de  $T_{pt}$ , que determina si el usuario lleva puesto el dispositivo.

$$P_{acel_j} = \begin{cases} 1, & \text{si } (v_{acel_{j+1}} > v_{acel_j} + 0.2) \wedge \\ & (v_{acel_{j+2}} + 0.2 < v_{acel_{j+1}}) \\ 0, & \text{en otros casos} \end{cases} \quad (2)$$

$$P = \sum_{j=0}^{27} P_{acel_j} \quad (3)$$

$$T_{acel_k} = \begin{cases} 1, & \text{si } (v_{acel_{k+1}} + 0.2 < v_{acel_k}) \wedge \\ & (v_{acel_{k+2}} > v_{acel_{k+1}} + 0.2) \\ 0, & \text{en otros casos} \end{cases} \quad (4)$$

$$T = \sum_{k=0}^{27} T_{acel_k} \quad (5)$$

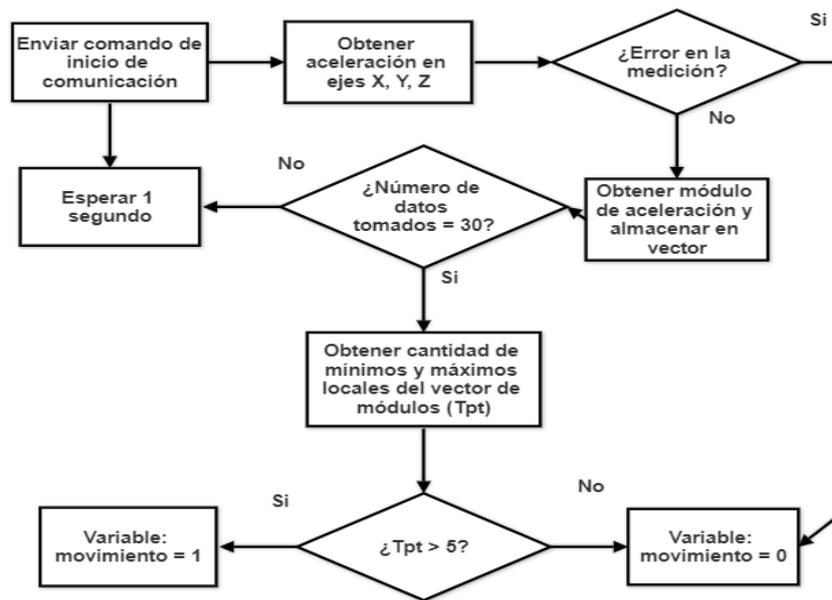


Fig 3. Diagrama de flujo de la etapa de detección de movimiento.

$$T_{pt} = P + T \quad (6)$$

Donde:

$P_{acel_j}$  es un máximo local y  $P$  es la cantidad total de máximos locales.

$T_{acel_k}$  es un mínimo local y  $T$  es la cantidad total de mínimos locales.

$T_{pt}$  es la cantidad de máximos y mínimos locales

Finalmente, se compara el valor de  $T_{pt}$ , con el umbral hallado en las pruebas realizadas previamente y se actualiza el valor de la variable movimiento a 1 en caso se haya superado el umbral.

### C. Control del GPS

La etapa de control del GPS utiliza el módulo L80 de Quectel para obtener los parámetros que permiten configurar el reloj interno del dispositivo, registrar la posición de la persona y la precisión de la posición obtenida. Cabe resaltar que se eligió este módulo debido a que está orientado al bajo consumo, ya que no requiere de una antena externa y se puede acceder a los diversos modos de operación a través de comandos enviados por el puerto serial. El GPS inicia su funcionamiento en el modo de Adquisición, el cual consume 25 mA, hasta que se obtiene la cantidad de satélites disponibles y se pasa automáticamente al modo Tracking, el cual consume 20 mA; sin embargo, para periodos de inactividad se puede activar el modo StandBy, enviando un comando predeterminado por el puerto serial, que consume 1 mA, el cual deja de enviar datos por el puerto serial pero almacena los datos de los satélites captados previamente, para posteriormente volver de forma rápida al modo Tracking con cualquier carácter recibido por dicho puerto.

El diagrama de flujo de la Fig. 4 muestra la etapa del algoritmo encargada del control del GPS.

El control de encendido del GPS depende de la etapa de detección de movimiento explicada anteriormente, ya que en caso se haya detectado que el usuario no lleva puesto el dispositivo, no se desactivará el modo de bajo consumo del GPS y por tanto no se almacenará la ubicación hasta que se detecte movimiento en un próximo intervalo de toma de datos del dispositivo.

En caso se haya detectado el uso del dispositivo por parte del usuario, se procede a enviar cualquier carácter al L80 a través del puerto serial, de este modo se desactiva el modo StandBy y se activa el modo Tracking. Luego, se procede a obtener información de la cadena RMC del estándar NMEA [9], que es el formato en el cual se recibe la información proveniente del GPS. De esta cadena se extrae el parámetro "Status", el cual determina la validez de la ubicación recibida ('A' = Válida 'V' = Inválida). En caso la ubicación sea válida, se obtiene la cadena GGA, la cual brinda la posición del usuario (latitud y longitud), además de información relacionada a la precisión de la ubicación obtenida (HDOP y cantidad de satélites disponibles); a continuación, se procede a analizar si los parámetros climáticos obtenidos en la primera etapa se encuentran en el rango mencionado en [6], el cual define las condiciones climáticas que provocan una mayor expansión de malaria.

Si los datos climáticos obtenidos no implican riesgo de presencia de malaria, se almacena la ubicación obtenida y se establece el modo StandBy en el L80, enviando la siguiente línea por el puerto serial: "\$PMTK161,0\*28" [10]. En caso contrario, se evalúa si la cantidad de satélites captados es mayor a 5 y el valor de HDOP es menor a 1.5, para proceder a almacenar la ubicación y establecer el modo StandBy.

Si la ubicación obtenida no cumple con los requisitos de precisión establecidos, se procede a solicitar datos nuevos (RMC y GGA) al GPS hasta que se cumpla lo establecido o se haya realizado un máximo de 30 intentos. En caso se llegue al máximo de intentos, se almacena la última ubicación obtenida y se configura el GPS en modo StandBy; de forma similar, se realiza la misma cantidad de intentos para los casos en que la ubicación obtenida no fue válida o se presentó algún error en la obtención de las cadenas RMC y/o GGA.

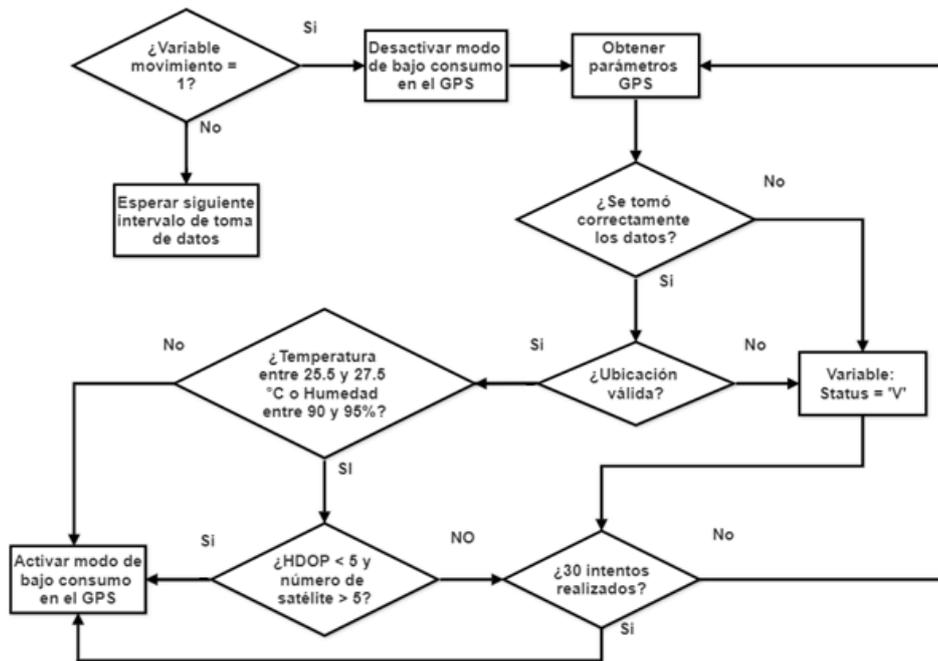


Fig 4. Diagrama de flujo de la etapa de control del GPS.

#### D. Registro de ubicación y parámetros ambientales

La presente etapa, almacena los datos obtenidos en cada intervalo en un archivo de texto, tal como se explica en el diagrama de flujo de la Fig. 5. El formato elegido para

almacenar los datos en un archivo de texto se muestra en la Fig. 6.

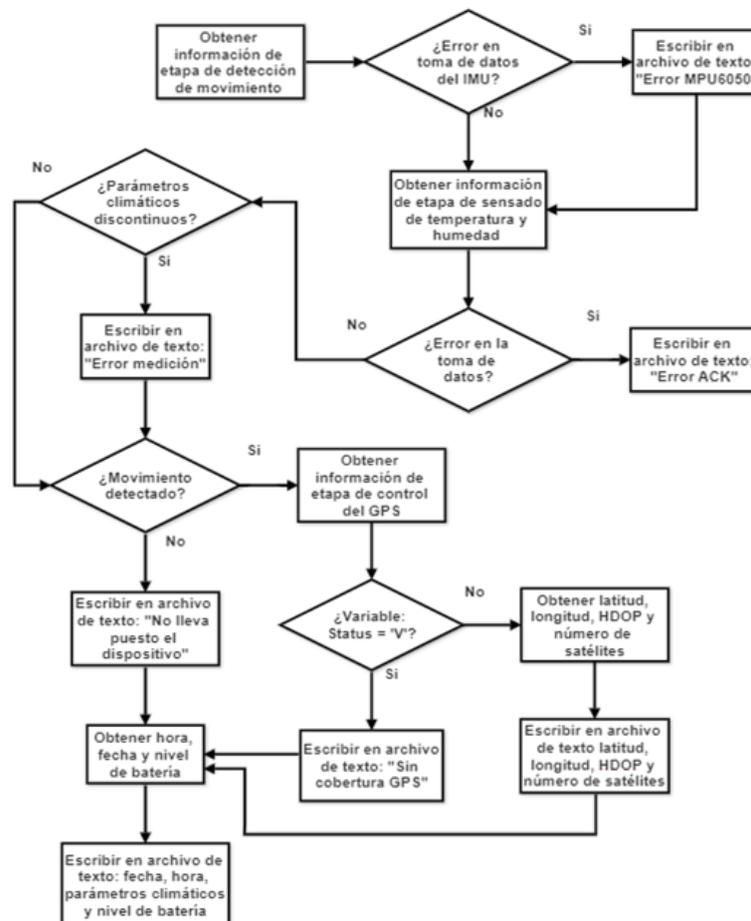


Fig 5. Diagrama de flujo de la etapa de registro de ubicación y parámetros climáticos.

```

ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:33:5 Latitud:-12.093418 Longitud:-76.994362 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:9 HDOP:0.96
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:34:8 Latitud:-12.093492 Longitud:-76.994049 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:9 HDOP:0.89
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:35:11 Latitud:-12.093669 Longitud:-76.993484 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:8 HDOP:0.90
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:36:14 Latitud:-12.093847 Longitud:-76.993027 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:10 HDOP:0.82
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:37:17 Latitud:-12.094051 Longitud:-76.992775 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:9 HDOP:0.87
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:38:20 Latitud:-12.094294 Longitud:-76.992470 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:8 HDOP:0.89
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:39:23 Latitud:-12.094741 Longitud:-76.992226 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:9 HDOP:0.89
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:40:26 Latitud:-12.095132 Longitud:-76.991905 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:9 HDOP:0.89
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:41:29 Latitud:-12.095481 Longitud:-76.991478 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:8 HDOP:1.07
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:42:32 Latitud:-12.095762 Longitud:-76.990997 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:9 HDOP:0.89
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:43:35 Latitud:-12.095872 Longitud:-76.990555 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:12 HDOP:0.96
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:44:38 Latitud:-12.095854 Longitud:-76.990074 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:12 HDOP:1.04
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:45:41 Latitud:-12.096039 Longitud:-76.989525 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:11 HDOP:0.77
ID:70282601 Fecha:27-9-2018 16:46:44 Latitud:-12.096231 Longitud:-76.988983 Temperatura:15.00 Humedad:50.00 Bateria:100 Status:A Satelites:10 HDOP:0.79

```

Fig 6. Formato de almacenamiento de datos.

### III. RESULTADOS

Para la implementación del algoritmo descrito, se utilizó los componentes mencionados en el ítem II; además de un MT2502, incluido en el Xadow GSM+BLE que cuenta con memoria interna de 5MB, y una batería de Litio de 500mAh para energizar los sensores mencionados.

La Tabla I muestra el consumo estimado de cada componente en modo de consumo por defecto y en modo de bajo consumo, especificado en sus respectivas hojas de datos y validado experimentalmente, además del total de energía consumido por todo el dispositivo en ambos casos.

TABLA I  
CONSUMO DE COMPONENTES

Componentes	Modo por defecto de consumo (mA)	Modo de bajo consumo (mA)
Xadow GSM+BLE	13	3
SHT10	0.55	0.003
MPU 6050	3.9	0.08
L80	25	1
Total	42.45	4.083

La Tabla II muestra los resultados que se obtuvieron en pruebas realizadas con un dispositivo que registra ubicación, temperatura y humedad cada 10 minutos, utilizando los componentes de la Tabla I.

La comparación se realizó registrando la duración de la batería en el dispositivo con un algoritmo que registra los parámetros mencionados, sin incluir ninguna instrucción de ahorro de energía en los sensores y sin usar el MPU6050, y la duración de la batería en el dispositivo luego de haber implementado el MPU6050 y el algoritmo descrito en el presente trabajo.

TABLA II  
DURACIÓN DEL DISPOSITIVO

	Sin algoritmo de ahorro de energía	Con algoritmo de ahorro de energía
Consumo promedio (mA)	29.4	7.9
Duración en horas	17	63

Finalmente, se evaluó la precisión del GPS con el algoritmo propuesto y los componentes utilizados para los resultados de la Tabla II, comparando la ubicación obtenida con un GPS Garmin eTrex 30x, en intervalos de toma de datos de 10 minutos. Esta prueba se llevó a cabo en el distrito de Mazán

provincia de Maynas del departamento de Loreto; debido a que, los estudios de enfermedades tropicales en el Perú se dan por lo general en los distritos de la selva y la precisión del GPS depende del entorno en que se realice la medición.

La Tabla III muestra el error promedio, error máximo y error mínimo, en metros, obtenido en comparación a la ubicación obtenida del Garmin eTrex 30x.

TABLA III  
PRECISIÓN DEL GPS

	Error promedio (m)	Error máximo (m)	Error mínimo (m)
Con algoritmo de ahorro de energía	13.51	54.82	1.76

La Fig. 7 muestra la diferencia entre la trayectoria registrada en el dispositivo y el GPS Garmin eTrex 30x en la localidad de Mazán, siendo los marcadores verdes las ubicaciones registradas por el eTrex 30x y los marcados rojos las ubicaciones obtenidas con el algoritmo propuesto. Como se puede apreciar los marcadores verdes superponen a los marcadores rojos, es decir, coinciden en posición en todos los casos; sin embargo, si se acerca la imagen se podrá apreciar una pequeña diferencia en un caso, tal como se ve en la Fig. 8. Cabe resaltar, que esta diferencia no influye de forma significativa en la visualización global de la trayectoria del usuario, ya que se puede distinguir claramente los lugares recorridos, tal como se muestra en la Fig. 7.

### IV. CONCLUSIONES

El presente algoritmo genera un incremento en la autonomía de dispositivos portátiles a través del control de encendido de un módulo GPS con un IMU; para ello, se utiliza información relacionada a la aceleración en los ejes X, Y y Z con la finalidad de determinar si el usuario está en movimiento. Cabe resaltar, que el método empleado en este algoritmo no implica el uso de filtros que añadan carga computacional, lo cual implica un menor consumo de energía; sin embargo, si se desea tener una mayor precisión en la detección de movimiento e incluso estimar la distancia recorrida por un usuario sin tener que encender el módulo GPS por determinados intervalos de tiempo, se puede extraer más información del IMU e implementar algoritmos que utilicen filtros de ruido, los cuales mejoran el resultado de la detección pero pueden disminuir la autonomía como consecuencia de una mayor carga computacional.



Fig 7. Comparación global de trayectoria registrada con el algoritmo propuesto y el GPS Garmin eTrex 30x.

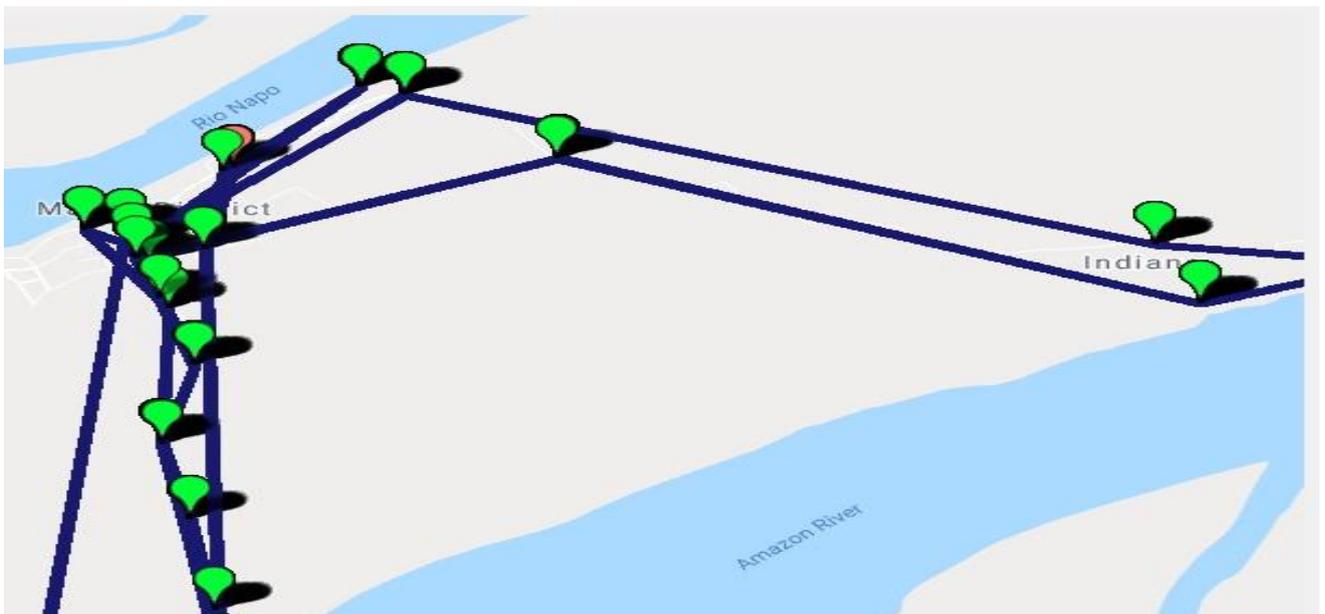


Fig 8. Comparación de trayectoria registrada con el algoritmo propuesto y el GPS Garmin eTrex 30x.

Por otro lado, los resultados expuestos demuestran que pese a la disminución en el consumo de energía del módulo GPS, las ubicaciones obtenidas permiten visualizar claramente la trayectoria realizada, mejorando los resultados, tanto en

calidad como en cantidad, que se puedan obtener en estudios epidemiológicos realizados con dispositivos que implementen el algoritmo propuesto.

## REFERENCIAS

- [1] "Casos de malaria por departamentos distritos Perú 2017", Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades, 2018. [Online]. Available: <http://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/sala/2017/SE02/malaria.pdf>. [Accessed: 25- Nov- 2018].
- [2] G. Carrasco, D. Gamboa, M. Castro, S. Bangdiwala, H. Rodriguez and J. Contreras, "Micro-epidemiology and spatial heterogeneity of *P. vivax* parasitaemia in riverine communities of the Peruvian Amazon: A multilevel analysis", *Nature*, 2017.
- [3] P. Jeongyeup, K. Joongheon and G. Ramesh, "Energy-Efficient Rate-Adaptive GPS-based Positioning for Smartphones.", University of Southern California., 2010.
- [4] T. Olutoyin and S. Poslad, "LALS: A Low Power Accelerometer Assisted Location Sensing technique for smartphones", 2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2013.
- [5] H. KhademSohi, S. Sharifian and K. Faez, "Accuracy-energy optimized location estimation method for mobile smartphones by GPS/INS data fusion", 2016 2nd International Conference of Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS), 2016.
- [6] C. Ramal, J. Vásquez, J. Magallanes and C. Carey, "Variables climáticas y transmisión de malaria en Loreto, Perú: 1995-2007", *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, no. 26, 2009.
- [7] "DatasheetSHTx", Spark Fun Electronics, 2018. [Online]. Available: [https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/SHT1x\\_datasheet.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/SHT1x_datasheet.pdf). [Accessed: 25- Nov- 2018].
- [8] "MPU6000 - MPU6050 Register Map and Descriptions", InvenSense., 2013. [Online]. Available: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Register-Map1.pdf>. [Accessed: 25- Nov- 2018].
- [9] D. DePriest, "NMEA data", Gpsinformation.org. [Online]. Available: <https://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>. [Accessed: 29- Jan- 2019].
- [10] "L80 GPS Protocol Specification", Quectel, 2014. [Online]. Available: [https://www.quectel.com/UploadImage/Downlad/Quectel\\_L80\\_GPS\\_Protocol\\_Specification\\_V1.2.pdf](https://www.quectel.com/UploadImage/Downlad/Quectel_L80_GPS_Protocol_Specification_V1.2.pdf). [Accessed: 25- Nov- 2018].