


¿Cómo medir la variabilidad de la frecuencia cardíaca en una mamá en constante movimiento?

How to Measure Heart Rate Variability in a Mom in Constant Motion?

Gonzalez-Lopez, D. I.^{1*} , Martinez-Mendez, R.¹, Rodriguez-Arce, J.¹, Zuñiga-Avilés, L. A.¹

Historial del artículo

Recibido: 15-mar-2025

Aceptado: 05-may-2025

Disponible en línea: 30-ago-2025

Palabras clave

ES: Variabilidad de la frecuencia cardíaca, fotoplethysmografía, sensores portátiles, movimiento corporal, periodo postparto

EN: Heart rate variability, photoplethysmography, wearable sensors, body movement, postpartum period

RESUMEN

A lo largo del día, el ritmo de nuestro corazón cambia continuamente, adaptándose a nuestras emociones, acciones y entorno. Sin embargo, medir esta variabilidad en movimiento constituye un reto importante, ya que los sensores más usados actualmente basados en luz (fotoplethysmografía) son muy sensibles a los movimientos del cuerpo, generando datos erróneos. Este problema es crítico para cualquier aplicación, pero en este artículo nos enfocaremos en la medición de estrés en mujeres en periodo postparto, quienes enfrentan altos niveles de ansiedad y estrés, pero a quienes, la demanda de cuidados del bebé les impide estar quietas para usar equipos médicos tradicionales. Este artículo propone el diseño de un sistema portátil experimental que permitiría comparar simultáneamente cuatro ubicaciones estratégicas: lóbulo de la oreja, frente, dedo y pecho. La metodología propuesta utiliza acelerómetros y un electrocardiograma de referencia para identificar qué zona anatómica es menos propensa al “ruido” provocado por actividades maternas típicas. La principal aportación es una estrategia para descubrir qué parte del cuerpo ofrece la señal más “limpia” mientras la madre realiza tareas como cargar o arrullar a su bebé, permitiendo descartar mecánicamente el ruido. Estos hallazgos podrían sentar las bases para desarrollar futuros dispositivos discretos que vigilen el bienestar materno en tiempo real sin interrumpir la labor de crianza.

ABSTRACT

Throughout the day, our heart rhythm changes constantly, adapting to our emotions, actions, and surroundings. However, measuring this variability while moving is a major challenge. The popular light-based sensors used today (photoplethysmography) are very sensitive to body movement, often creating erroneous data. This is a critical issue, especially for measuring stress in postpartum women. New mothers often face high levels of anxiety but cannot stay still enough to use traditional medical equipment because of the constant demands of baby care. This article proposes the design of an experimental wearable system that simultaneously compares four strategic body sites: the earlobe, forehead, finger, and chest. The proposed methodology uses accelerometers and a reference electrocardiogram to identify which body part is least affected by the “noise” caused by typical maternal activities. The main contribution is a strategy to discover which spot offers the “cleanest” signal while a mother performs tasks like holding or rocking her baby, helping to filter out movement noise. These findings could lay the groundwork for future discreet devices that monitor maternal well-being in real-time without interrupting parenting tasks.

Afiliaciones:

¹ Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ingeniería Toluca, Estado de México, México. Correo: digonzalezl001@uaemex.mx; rmartinezme@uaemex.mx; jrodriguez@uaemex.mx; lazunigaa@uaemex.mx

* Autor de correspondencia: digonzalezl001@uaemex.mx



¿Por qué es importante este tema?

¿Alguna vez has sentido que el corazón se te acelera sin haber corrido un maratón? Esa variación en el tiempo entre latido y latido es como un código secreto que nuestro cuerpo utiliza para decirnos cómo está nuestra salud física y mental. Para una mujer que acaba de dar a luz, descifrar este código es vital. El periodo postparto es una verdadera montaña rusa: el cuerpo se está recuperando, las hormonas cambian y el sueño escasea. En México, la situación es seria; estudios recientes señalan que casi el 40 % de las mujeres en esta etapa reportan síntomas de depresión o ansiedad [1]. Detectar este estrés a tiempo podría cambiar vidas, pero aquí nos topamos con un obstáculo técnico: las mamás no son estatuas.

La tecnología actual que usamos en relojes y pulseras inteligentes funciona con luz (una técnica llamada fotopleletismografía o PPG) [2]. Es fantástica porque es cómoda y no duele, pero tiene un gran talón de Aquiles: el movimiento [3]. Cuando una madre camina, mece a su bebé o realiza tareas domésticas, el sensor se mueve y la señal se deforma con “ruido”, haciendo que el dispositivo confunda el movimiento del brazo con los latidos del corazón [3], [4]. Entonces, si las manos de una madre están ocupadas cuidando al recién nacido, ¿realmente es la muñeca el mejor lugar para medir su estrés?

Este es el dilema que abordamos aquí. La pregunta central que buscamos resolver no es solo técnica, sino práctica: ¿En qué parte del cuerpo deberíamos colocar un sensor para que detecte claramente los latidos del corazón de una mamá activa, sin que el movimiento arruine la medición? A lo largo de este artículo, te contaremos cómo diseñamos un sistema experimental capaz de medir en cuatro lugares al mismo tiempo (frente, oído, dedo y pecho) para descubrir cuál de ellos es el “campeón” de la estabilidad frente al ajetreo de la maternidad.

¿Qué sabíamos antes?

Si te pido que imagines una medición médica del corazón, probablemente visualizarás una escena de hospital: una persona acostada en una camilla, inmóvil, con cables pegados al pecho y una máquina haciendo un “bip” rítmico, ver Figura 1. Ese es el electrocardiograma (ECG), y durante décadas ha sido el “estándar de oro” de la medicina. Funciona midiendo la electricidad que genera el corazón, y aunque es increíblemente preciso, tiene un gran problema para la vida diaria: los cables son estorbosos y requieren que te quedes quieto.

Sin embargo, la historia dio un giro fascinante hace casi un siglo. En la década de 1930, investigadores pioneros como Molitor y Kniazuk descubrieron que no era necesario “tocar” el corazón con electrodos para escucharlo; bastaba con “observar” los efectos de los latidos en las arterias [2]. Se dieron cuenta de que, al hacer pasar luz a través de la piel (como en la oreja de un conejo o un dedo humano), la cantidad de luz que pasaba cambiaba con cada latido. Había nacido la fotopleletismografía (PPG). Aunque el nombre suena complicado, el principio es sencillo: la sangre absorbe luz; cuando el corazón bombea, llega más sangre y pasa menos luz, ver Figura 2.



Figura 1: Obtención de las señales eléctricas del corazón en un estudio de ECG habitual.

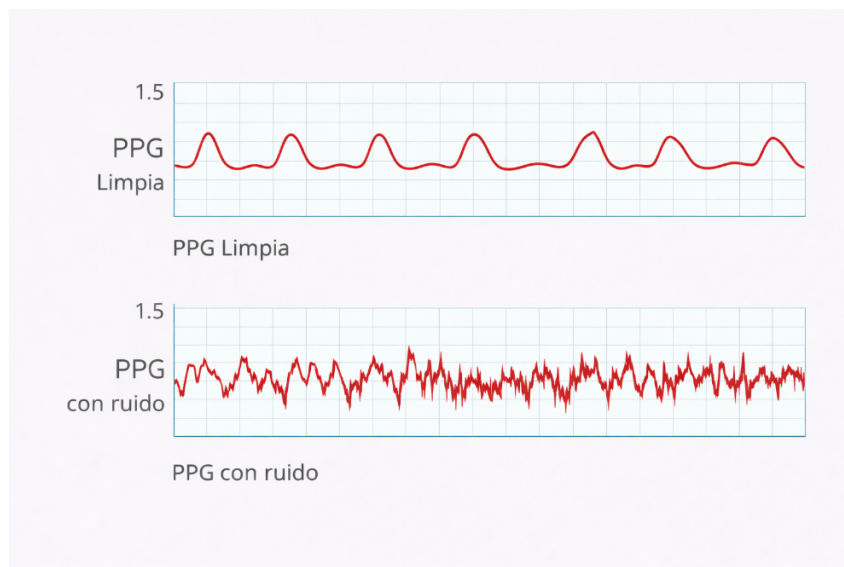


Figura 2: Fotopleletismografía: Midiendo el pulso del corazón con luz.

La era de los “wearables” y su talón de Aquiles

Este descubrimiento permaneció en el ámbito clínico (en los oxímetros de dedo) hasta que la tecnología moderna lo miniaturizó. Hoy, millones de personas llevan sensores PPG en sus relojes inteligentes (smartwatches) usando luces verdes o rojas para monitorear su salud. Parecía la solución perfecta: portátil, sin dolor y fácil de usar.

Pero pronto descubrimos una limitación crítica. Estos sensores ópticos son extremadamente sensibles a lo que los ingenieros llamamos “artefactos de movimiento” [3]. Imagina que tratas de escuchar un susurro en medio de un concierto de rock; eso es lo que le pasa al sensor cuando te mueves. Investigaciones recientes han demostrado que acciones tan simples como caminar o mover el brazo crean una “señal fantasma” que puede ser diez veces más fuerte que la señal real del corazón. El sensor se confunde y no sabe qué es latido y qué es movimiento, ver Figura 3.



Figura 3: Señal PPG Ideal y Señal PPG Afectada por Ruido.

El rompecabezas de la ubicación

Hasta ahora, la ciencia ha intentado resolver esto mediante algoritmos matemáticos complejos o filtros digitales, pero con éxito limitado si el movimiento es intenso o impredecible [3]. Además, surge otro debate: ¿es la mano realmente el mejor lugar para cualquier actividad? Estudios comparativos recientes han demostrado que, aunque el dedo ofrece una señal muy fuerte, es la parte del cuerpo que más movemos [5]. Otros sitios, como el lóbulo de la oreja o la frente, podrían ofrecer señales más estables porque la cabeza se mueve menos que las extremidades, pero la señal allí suele ser más débil o tener formas de onda distintas que dificultan el análisis [4], [5].

Aquí es donde nos encontramos con un punto de inflexión. Sabemos que la tecnología actual falla cuando una madre carga a su bebé o realiza labores domésticas, porque sus movimientos no son los de un corredor en una caminadora; son movimientos asimétricos y constantes. Por lo tanto, no basta con mejorar el software; necesitamos repensar el diseño físico de la medición. ¿Y si en lugar de confiar en un solo punto (como la muñeca), “interrogamos” a varias partes del cuerpo simultáneamente para ver cuál miente?, ver Figura 4.

¿Cómo funciona la nueva propuesta?

Para resolver el dilema de medir el estrés sin interrumpir a mamá, hemos diseñado un sistema que no se conforma con una sola opinión. Nuestra propuesta tecnológica se basa en dos pilares: la redundancia estratégica (medir en muchos lados) y la verificación cruzada (medir el movimiento).

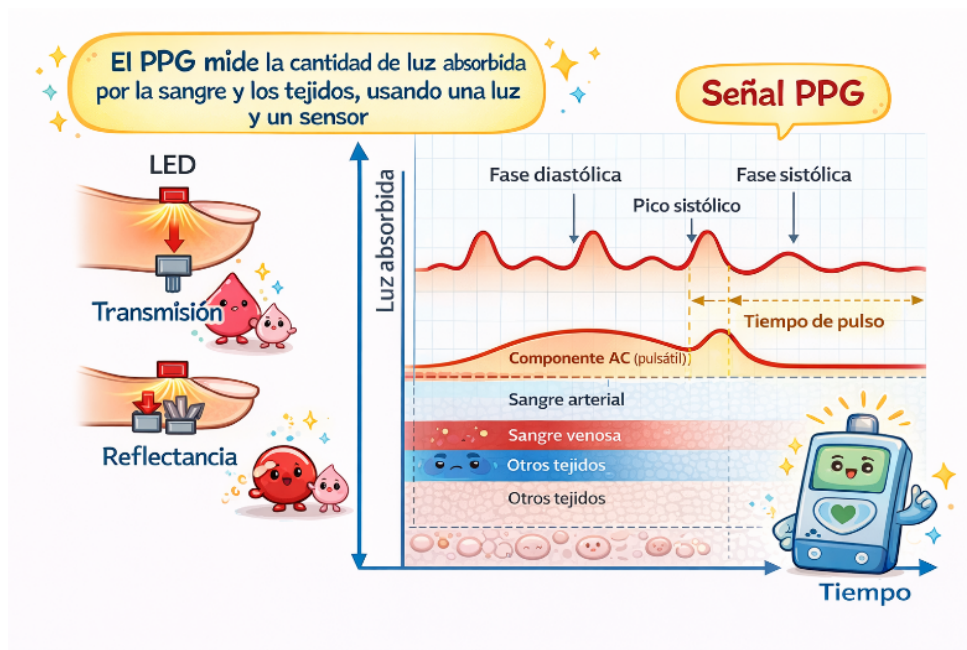


Figura 4: Buscando el mejor lugar para medir el pulso.

El principio de la “linterna” (Fotopleletismografía)

El núcleo del sistema es la fotopleletismografía (PPG), la misma tecnología que usan los relojes inteligentes. El principio es fascinante por su sencillez: imagina que pones una linterna potente contra tu dedo en una habitación oscura. Verás que tu dedo brilla en rojo y, si te fijas bien, ese brillo parpadea ligeramente. Eso ocurre porque cada vez que el corazón bombea (sístole), llega más sangre a los tejidos y absorbe más luz; cuando el corazón se relaja (diástole), la sangre retrocede y pasa más luz. Nuestros sensores hacen exactamente esto: emiten luz (generalmente verde o infrarroja) y miden cuánta rebota, convirtiendo esos cambios de luz en una onda digital que dibuja el ritmo del corazón [2].

Componentes: Un equipo de cuatro “observadores”

A diferencia de los dispositivos comerciales que apuestan todo a la muñeca o a los dedos, nuestro prototipo experimental coloca sensores en cuatro puntos anatómicos simultáneamente. La lógica es simple: si una parte del cuerpo se mueve, quizás otra esté quieta.

El dedo: Es el estándar clásico porque tiene mucha circulación y da una señal muy fuerte, pero es el primero en fallar si la madre usa las manos [4].

La frente: Al estar irrigada por la arteria supraorbitaria, ofrece una señal robusta y la cabeza suele moverse menos que las extremidades, aunque los gestos faciales pueden interferir [4].

El lóbulo de la oreja: Es una zona discreta y, según estudios recientes, ofrece una señal comparable a la del dedo, pero con menos artefactos por movimiento corporal general [4].

El pecho: Al estar cerca del corazón y en el centro del cuerpo (tronco), sufre menos aceleraciones

bruscas que los brazos, aunque la respiración puede afectar la lectura [4].

El detector de mentiras (Acelerómetros)

Aquí está el truco de ingeniería: cada sensor de luz va acompañado de un acelerómetro, un dispositivo electrónico idéntico al que controla en un teléfono celular cuándo girar la pantalla. Este sensor funciona como un “chismoso”: su único trabajo es reportar qué tanto se está moviendo esa parte específica del cuerpo. El sistema funciona paso a paso así:

1. Adquisición: Los sensores de luz captan el pulso en los cuatro puntos simultáneamente.
2. Interrogatorio: El sistema consulta a los acelerómetros. Por ejemplo, si la mamá está meciendo al bebé, el acelerómetro del dedo gritará “¡Aquí hay mucho movimiento!”, mientras que el del pecho podría reportar calma.
3. Validación: El algoritmo descarta las señales de las zonas ruidosas y prioriza las zonas estables.
4. El Juez de la Verdad: Como este es un prototipo para validar la tecnología, necesitamos saber quién tiene la razón. Por eso, el sistema incluye un cable de seguridad: El electrocardiograma (ECG). El ECG mide la electricidad directa del corazón y no se deja engañar tan fácil por el movimiento. Nos sirve como el “patrón de oro” o juez. Al final, compararemos las señales de luz (PPG) con el juez (ECG) para ver qué ubicación (frente, oreja, dedo o pecho) dijo la verdad más veces mientras la madre realizaba sus actividades.

Casos prácticos y aplicaciones

Más allá del gimnasio: La vida real de una madre

Seguramente has visto (o usado) relojes inteligentes que miden tus pasos y tu pulso mientras corres. Estas son las aplicaciones comerciales actuales más exitosas. Dispositivos como el Apple Watch o Fitbit han hecho que la fotopleletismografía (PPG) sea algo cotidiano para deportistas y entusiastas del fitness [3]. Sin embargo, estos aparatos están diseñados para asumir movimientos rítmicos y repetitivos, como trotar. ¿Pero qué pasa cuando el movimiento es caótico, impredecible y delicado, como el de una madre cuidando a un recién nacido? Ahí es donde la tecnología comercial suele rendirse y mostrar datos erróneos o vacíos.

El “casting” de sensores: un experimento de selección

Para resolver esto, no proponemos llenar a la madre de cables, sino realizar un estudio exhaustivo para encontrar el lugar perfecto. Nuestro prototipo experimental funciona como un “juez” en una audición. Colocamos sensores en cuatro candidatos simultáneamente: frente, oreja, dedo y pecho, y sometemos estos puntos a las pruebas de fuego del día a día materno (ver Figura 5):

- La Lactancia: Aunque la madre parece estar quieta, su postura cambia, y si usa las manos

para sostener al bebé, un reloj de muñeca podría perder la señal por la tensión muscular o la posición del brazo. - El arrullo: El movimiento de mecer a un bebé genera una frecuencia rítmica que puede confundirse con el latido cardíaco. - La caminata con carga: Caminar sosteniendo peso (el bebé) cambia el centro de gravedad y el impacto en el cuerpo, generando vibraciones distintas a una caminata libre [6].



Figura 5: *Actividades propias del periodo postparto consideradas en el análisis de señales fisiológicas en condiciones de movimiento.*

Beneficios cuantificables: En busca del “Campeón de la Estabilidad”

El objetivo de este desarrollo tecnológico es obtener un dato crucial que hoy desconocemos: la cobertura. En ingeniería biomédica, la cobertura es el porcentaje de tiempo que un sensor nos dice la verdad en lugar de darnos error. Estudios previos en laboratorio sugieren que el dedo tiene una señal muy fuerte pero muy sensible al movimiento, mientras que la oreja o la frente podrían ser más estables [4]. Sin embargo, nadie ha comparado esto en tareas de maternidad. Nuestra meta es comparar los cuatro sitios y decir: “Para una madre activa, el sensor X es el único que mantiene una señal confiable el 95 % del tiempo”. Esto permitirá descartar los lugares problemáticos y diseñar, en el futuro, un dispositivo que use un solo sensor ubicado en el sitio ganador, garantizando comodidad y precisión sin estorbar en la crianza.

¿Qué significa esto para ti?

Imagina un futuro donde tu dispositivo de salud no sea un reloj estorboso que te lastima al cargar a tu bebé, sino quizás un pequeño “arete” inteligente o un parche discreto en el pecho, diseñado científicamente para funcionar justo donde tu cuerpo emite la mejor señal. Este estudio es el primer paso para crear tecnología que se adapte a la mamá, y no que la mamá tenga que adaptarse a la tecnología.

Al identificar el sitio anatómico óptimo, podremos dejar de depender de dispositivos genéricos

deportivos y pasar a herramientas de salud mental materna efectivas. Esto facilitaría la detección temprana de episodios de ansiedad o estrés postparto, permitiendo que el dispositivo avise a la madre cuándo necesite tomar un respiro, basándose en datos reales y no en errores por movimiento.

El futuro que nos espera

La carrera tecnológica actual no se trata solo de hacer sensores más potentes, sino más inteligentes. Hoy en día, la investigación se centra en la “limpieza digital”. Ya no nos conformamos con capturar la señal; ahora estamos enseñando a los dispositivos a distinguir, mediante algoritmos avanzados, qué es un latido y qué es el movimiento de un brazo al cambiar un pañal. Estudios recientes, como los revisados por Seok y colaboradores [3], muestran que el futuro inmediato está en combinar la señal de luz (PPG) con datos de movimiento (acelerómetros) para reconstruir la señal perdida, casi como si el dispositivo “adivinara” con precisión científica lo que ocurrió durante el movimiento.

A muy corto plazo, una vez que nuestro estudio y otros similares determinen cuál es el “lugar ganador” (frente, oído, dedo o pecho) para una madre activa, veremos una simplificación radical del hardware. Dejaremos de usar aparatos experimentales llenos de cables para pasar a dispositivos minimalistas ubicados en un solo punto. Es muy probable que veamos el auge de los “hearables” (dispositivos en el oído) o parches inteligentes invisibles, dado que el lóbulo de la oreja ha mostrado ser un candidato prometedor por su estabilidad frente al movimiento del resto del cuerpo (ver Figura 6).



Figura 6: *Ubicaciones Anatómicas Alternativas para la Medición de Señales PPG.*

A largo plazo, la meta es la invisibilidad. Imaginamos una tecnología que cuide a la mamá sin que ella tenga que pensar en ello. Al integrar estos sensores validados en accesorios cotidianos (como unos aretes o una diadema), podremos monitorear la variabilidad cardíaca 24/7. Esto

permitiría detectar patrones de estrés crónico o riesgo de depresión postparto antes de que se conviertan en una crisis, enviando alertas suaves al teléfono o directamente al médico, tal como sugieren las necesidades clínicas actuales.

Este futuro no depende solo de la fotoplethismografía. Estamos viendo una convergencia fascinante con la Inteligencia Artificial (IA). Mientras el sensor mide la sangre, una IA podría aprender las rutinas específicas de cada madre, adaptándose a sus patrones de sueño y actividad para no dar falsas alarmas. Además, el Internet de las Cosas (IoT) permitirá que estos datos viajen en tiempo real a la nube, lo que creará una red de seguridad digital alrededor de la maternidad.

Sin embargo, no todo es color de rosa. Aún enfrentamos desafíos importantes. El principal obstáculo sigue siendo la eficiencia energética: un dispositivo que monitorea constantemente consume mucha batería, y no podemos pedirle a una mamá ocupada que cargue su sensor cada cuatro horas. Además, debemos garantizar que los materiales sean hipoalergénicos y cómodos para pieles sensibles o en contacto con el bebé. Superar la barrera del “ruido por movimiento” es solo el primer paso; el siguiente será lograr que la tecnología sea tan humana y resiliente como las madres que busca proteger.

Referencias

- [1] B. V. Suárez-Rico et al., “Prevalence of Depression, Anxiety, and Perceived Stress in Postpartum Mexican Women during the COVID-19 Lockdown”, *IJERPH*, vol. 18, pág. 9, abr. de 2021. DOI: [10.3390/ijerph18094627](https://doi.org/10.3390/ijerph18094627)
- [2] J. Allen, “Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement”, *Physiol. Meas.*, vol. 28, n.º 3, R01, mar. de 2007. DOI: [10.1088/0967-3334/28/3/R01](https://doi.org/10.1088/0967-3334/28/3/R01)
- [3] D. Seok, S. Lee, M. Kim, J. Cho y C. Kim, “Motion Artifact Removal Techniques for Wearable EEG and PPG Sensor Systems”, *Front. Electron.*, vol. 2, mayo de 2021. DOI: [10.3389/felec.2021.685513](https://doi.org/10.3389/felec.2021.685513)
- [4] P. Armañac-Julián et al., “Reliability of pulse photoplethysmography sensors: Coverage using different setups and body locations”, *Front. Electron.*, vol. 3, pág. 906 324, sep. de 2022. DOI: [10.3389/felec.2022.906324](https://doi.org/10.3389/felec.2022.906324)
- [5] V. Hartmann, H. Liu, F. Chen, Q. Qiu, S. Hughes y D. Zheng, “Quantitative Comparison of Photoplethysmographic Waveform Characteristics: Effect of Measurement Site”, *Front. Physiol.*, vol. 10, pág. 198, mar. de 2019. DOI: [10.3389/fphys.2019.00198](https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00198)
- [6] S. Nakić Radoš, M. Brekalo y M. Matijaš, “Measuring stress after childbirth: development and validation of the Maternal Postpartum Stress Scale”, *J Reprod Infant Psychol*, págs. 1-13, jun. de 2021. DOI: [10.1080/02646838.2021.1940897](https://doi.org/10.1080/02646838.2021.1940897)