

# Prototipo para la adquisición de mapas de potencial superficie corporal electrocardiográfica

Diego Gustavo Timana Navarro<sup>1</sup>

Daniel Alejandro Guerrero Bolaños<sup>2</sup>

Edison Viveros Villada<sup>3</sup>

**Cítese como:** Timana-Navarro, D. G., Guerrero-Bolaños, D. A. y Viveros-Villada, E. (2023). Prototipo para la adquisición de mapas de potencial superficie corporal electrocardiográfica. En H. Juajibioy-Otero, J. A. Oviero, H. D. Huertas-Moreno, N. S. Gallego-Eraso, F. C. Gómez-Meneses y O. A. Bernal-Ortiz (comps.), *Investigar e innovar en ambientes diversos con sustento en el desarrollo humano sostenible* (pp. 94-101). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.172.c254>

## Resumen

La electrocardiografía es uno de los mayores métodos de detección para enfermedades cardiovasculares y el más utilizado alrededor del mundo, incluyendo Colombia y Nariño; sin embargo, en la actualidad se están generando nuevos métodos más avanzados, así como nuevas herramientas para el estudio de estas enfermedades; uno de los métodos nuevos es el Potencial de Mapeo de la Superficie de origen corporal, que propone un estudio mucho más denso y avanzado de los potenciales eléctricos corporales; utiliza cinco veces más electrodos que cualquier electrocardiógrafo convencional. Este prototipo cuenta con ciertas etapas parecidas a las de un electrocardiógrafo normal, sobre todo en la parte de amplificación y filtrado; sus etapas son las siguientes: adquisición de señales, protección del paciente, amplificadores de instrumentación, filtrado, conversión análogo-digital y procesamiento de señales. La primera etapa se encarga de adquirir las señales del paciente a través de los electrodos; posteriormente, esta señal es multiplexada y luego amplificada y filtrada; finalmente, se la convierte en una señal digital para procesarla. Así, en la región de Nariño se puede evidenciar una falta de equipos electrocardiográficos avanzados y una total carencia de equipos de ECG densos, que utilizan métodos como BSMP; por eso, es pertinente el desarrollo de este proyecto de innovación como una posible herramienta potencial para un mejor estudio de señales electrocardiográficas.

**Palabras clave:** electrocardiografía; potenciales eléctricos; mapeo.

<sup>1</sup>Semillero SINDATRONIC, Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: dietimana@umariana.edu.co

<sup>2</sup>Semillero SINDATRONIC, Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: dguerrero@umariana.edu.co

<sup>3</sup>Grupo de Investigación GRIM, Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: Eviveros@umariana.edu.co

# Prototype for the acquisition of body surface electrocardiographic potential maps

## Abstract

Electrocardiography is one of the major detection methods for cardiovascular diseases and the most widely used around the world, including Colombia and Nariño; however, new and more advanced methods are currently being generated, as well as new tools for the study of these diseases; one of the new methods is the Mapping Potential of the Surface of body origin, which proposes a much denser and more advanced study of the body's electrical potentials; it uses five times more electrodes than any conventional electrocardiograph. This prototype has certain stages similar to those of a normal electrocardiograph, especially in the amplification and filtering part; its stages are as follows: signal acquisition, patient protection, instrumentation amplifiers, filtering, analog-digital conversion, and signal processing. The first stage is responsible for acquiring the patient's signals through the electrodes; subsequently, this signal is multiplexed and then amplified and filtered; finally, it is converted into a digital signal for processing. Thus, in the Nariño region, there is a lack of advanced electrocardiographic equipment and a total lack of dense ECG equipment, which uses methods such as BSMP; therefore, the development of this innovation project is pertinent as a potential tool for a better study of electrocardiographic signals.

**Keywords:** electrocardiography; electrical potentials; mapping.

## 1. Introducción

Las señales que normalmente son visualizadas en un electrocardiógrafo convencional o impresas en papel para electrocardiografía son el producto de un proceso de adquisición de señales, amplificado, filtrado y conversión análoga digital, si bien, este es el método más común y el más utilizado para el estudio de señales electrocardiográficas, en la actualidad, han surgido nuevos métodos y más óptimos que permiten un mejor estudio de estas señales, uno de estos nuevos métodos es la adquisición de señales a través de potenciales de superficie corporales o también conocido BSMP (por sus siglas en inglés).

Este método consiste en realizar un mapeo de potenciales por todo el torso, por medio de un prototipo de chaleco donde van a estar ubicados los electrodos, dependiendo de la configuración del prototipo, se pueden encontrar prototipos con una configuración de hasta 254 electrodos. En el caso de este proyecto, se utilizará una configuración de 64 electrodos donde se ubicarán 32 en la parte posterior del torso y 32 en la parte trasera del torso.

Así mismo, el investigador Lux (2010) aclara los diferentes tipos utilizados para la adquisición de potenciales a través de electrodos, en los cuales se ha desarrollado varias técnicas para facilitar y acelerar el proceso de aplicación de los electrodos a los pacientes. Estos incluyen el uso de tiras de electrodos con adhesivo de doble cara, chalecos inflables en los que están incrustados los electrodos en las superficies internas, conjuntos de electrodos soportados por una carcasa mecánica y ajustable para adaptarse a cada torso, y tiras de electrodos adheridos al paciente mediante succión. La mayoría de los sistemas de electrodos usan y requieren el uso de gel de electrodos, con el fin de asegurar un buen contacto electrodo-piel, pero otros han reportado éxito usando electrodos secos activos, que eliminan la necesidad de gel de electrodos. Por lo tanto, en este proyecto, se decidió optar por un chaleco ajustable que contenga los electrodos de succión.

Por otra parte, este método permite un estudio más detallado de las señales electrocardiográficas, gracias a que posee una configuración mucho mayor de electrodos, los cuales permiten estudiar a profundidad los potenciales del corazón, por eso, muchos investigadores como Robinson y Curzen (2009) han realizado su estudio basados en el siguiente interrogante: ¿Es una nueva herramienta potencial para la detección de isquemia miocárdica transitoria en el siglo XXI?, además, resaltan cómo se construyen los mapas convencionales de ECG, que parten del análisis de cuatro segmentos del complejo ECG, a saber: 1. mapa isointegral QRS, que representa la despolarización ventricular; 2. mapa isointegral de STT, que es representativo de la repolarización ventricular; 3. mapa de isopotencial ST0 (punto J), que mide cualquier cambio de voltaje al comienzo del segmento ST 4; 4. mapa de isopotenciales ST60/ST80, que analiza cambios de voltaje 60/80 ms después del punto J isoelectrico.

Bajo estos fundamentos, es pertinente la investigación y el desarrollo de un prototipo para la adquisición de mapas de potencial superficie corporal electrocardiográfico, que sea óptimo y brinde una herramienta eficaz para el estudio de potenciales electrocardiográficos, además de brindar un estudio profundo de estos potenciales, con lo cual se innovará en la región.

### Planteamiento del problema

En el departamento de Nariño, el mayor método utilizado para la detección de enfermedades cardiovasculares es mediante electrocardiografía tradicional de 3 derivaciones y pocos son los hospitales donde cuentan con equipos avanzados que hagan un estudio detallado, por ejemplo, los electrocardiogramas de 12 derivaciones; el método de detección mediante innovadores estudios como el de BSMP es escaso. Así mismo, según la Gobernación de Nariño, durante el año 2016, se encuentra que las primeras causas de mortalidad, después de las agresiones y homicidios, en segundo lugar, son las enfermedades isquémicas del corazón, con una tasa de 2,6 % por cada 1000 habitantes (Trujillo, 2013).

Así mismo, se evidencia que las enfermedades cardiovasculares tienen un alto índice de mortalidad, según el Instituto Departamental de Salud de Nariño –IDNS–, en el año 2018, se presentaron 1.115 muertes. Entre los municipios de Nariño con tasa de mortalidad por enfermedades cardiovasculares se encuentran los siguientes: Pasto con 758, ocupando un 68 %; Tumaco con 233, correspondiente al 21 %, e Ipiales con 169, correspondiente al 11 % (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2018); lo anterior demuestra que la mayoría de las muertes se encuentra en las grandes ciudades del departamento. Estas estadísticas han venido en una progresión lineal y cada año van en aumento los casos por enfermedades cardiovasculares; de acuerdo a expertos se espera que los siguientes años se mantenga esta progresión y que la tasa de mortalidad aumente al pasar los años (DANE, 2018).

Actualmente, las enfermedades cardíacas se posicionan como una de las principales causantes de mortalidad, “según el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, las enfermedades del sistema circulatorio fueron la primera causa de mortalidad en Colombia entre 2005 y 2014” (Martínez-Espitia et al., 2020, p. 65). También, en la región, se encuentran equipos utilizados en la medicina habitual, que se encargan únicamente de la lectura electromiografía del corazón de manera general, es decir, la mayoría de los equipos son electrocardiógrafos de 3 derivaciones; en clínicas especializadas, se encuentran electrocardiógrafos de hasta 12 derivaciones, esto debido a la gran inversión que se debe hacer para contar con equipos óptimos.

Por esta razón, el proyecto busca implementar un prototipo para la adquisición de mapas de potencial superficie corporal con electrocardiografía mediante uso de ECGs densos y técnicas de procesamiento de señales.

## 2. Fundamentación teórica

### Impulsos eléctricos del corazón

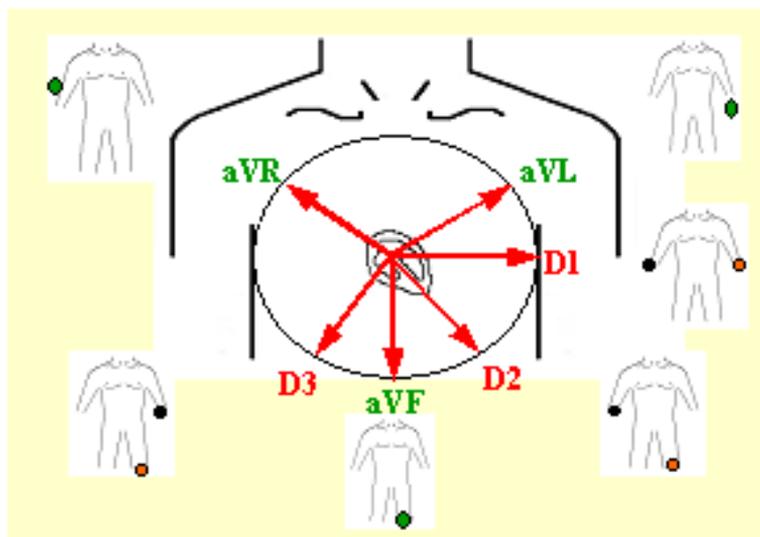
Se dice que el nodo SA es el marcapasos natural del corazón. Está constituido por células especiales que generan automáticamente el impulso eléctrico que excitará a otras células del miocardio. El estímulo generado por el nodo SA se distribuye por ambas aurículas (primero la derecha y luego la izquierda) produciendo la despolarización auricular hasta llegar al nodo AV. Una vez allí, el impulso es retardado (0.13 segundos aproximadamente) para dar tiempo a que la sangre pase de la aurícula a los ventrículos antes de que las válvulas que separan estas cavidades se cierren. A continuación, el impulso eléctrico se transmite a los ventrículos a través del haz de His y de las fibras de Purkinje, causando la contracción de los mismos. Esta fase se conoce con el nombre de despolarización ventricular. Completada la fase de despolarización ventricular, se entra en un período refractario (basal) durante el cual un nuevo estímulo no produce una nueva despolarización. Por último, comienza la fase de repolarización ventricular que termina cuando las células alcanzan su potencial de reposo, completándose así el ciclo cardiaco (el latido). El corazón queda preparado para que un nuevo estímulo provoque un nuevo potencial de acción y se repita la serie de contracciones y relajaciones. La suma de los gradientes de los potenciales de acción generados en diferentes intervalos de tiempo y espacio a lo largo del ciclo cardiaco da lugar a la señal de electrocardiograma (ECG). (Magrans, 2016, p. 5)

### Derivaciones y triangulo de Eithoven

“En las derivaciones bipolares de miembros de Einthoven, registran la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos” (Barraza, 2010, p. 36).

#### Figura 1

##### Derivaciones del plano frontal



Fuente: Barraza (2010).

La derivación I se encuentra entre el brazo izquierdo (+) y el derecho (-).

La derivación II se encuentra entre la pierna izquierda (+) y el brazo derecho (-).

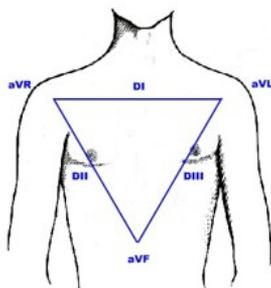
La derivación III se encuentra entre la pierna izquierda (+) y el brazo derecho (-).

En las derivaciones monopolares de miembros, se registra la actividad eléctrica en el plano frontal desde cada miembro por separado, donde aVR indica el potencial del brazo derecho, aVL es el potencial del brazo izquierdo y aVF indica el potencial de la pierna izquierda. La suma de estas 3 derivaciones debe ser igual a cero. En las derivaciones frontales, el centro geométrico del triángulo representa el corazón, y cada extremo representa una carga eléctrica.

El triángulo de Einthoven incluye las derivaciones I, II y III, con las cuales se leen los registros del electrocardiograma. (Barraza, 2010, p. 36)

**Figura 2**

*Triángulo de Einthoven*



Fuente: Barraza (2010).

La colocación de los electrodos es la siguiente:

v1: en el cuarto espacio intercostal derecho.

v2: en el cuarto espacio intercostal izquierdo.

v4: en el quinto espacio intercostal a la altura de la línea media clavicular.

v3: entre v2 y v4.

v5: en la línea axilar anterior.

v6: en la línea axilar media. (Barraza, 2010, p. 37)

### **Mapeo del potencial de la superficie corporal**

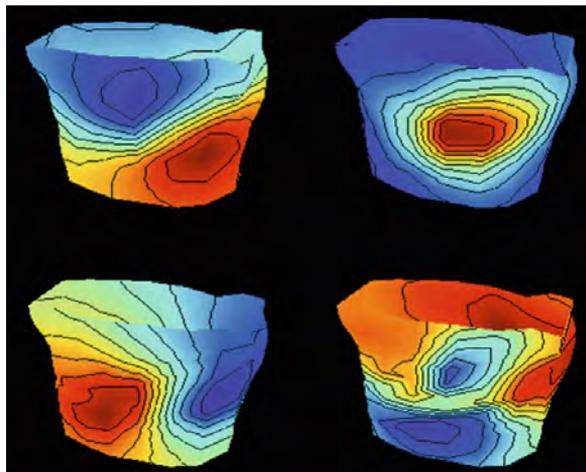
El mapeo del potencial de superficie corporal (BSPM) es un subconjunto del campo más general del mapeo cardíaco, incluye el estudio directo de los campos cardíacos medidos en el espacio intracavitario, intramuralmente dentro del miocardio y en las superficies pericárdicas y endocárdicas. Si bien, el mapeo de la superficie corporal es completamente no invasivo y utiliza métodos pasivos o electrodos activos colocados en la superficie del cuerpo, las técnicas de mapeo cardíaco directo son invasivas y requieren de la inserción de matrices montadas en catéteres (globos, cestas) en las cavidades, catéteres multipolares colocados en las venas coronarias, agujas multipolares insertadas directamente en el miocardio, o matrices de electrodos montadas en "calcetines" o parches para su uso en el epicardio en el momento de la cirugía de tórax abierto.

En todos los casos, el objetivo es evaluar las distribuciones de potencial o corriente en y dentro del miocardio, por lo tanto, cuanto más sean los sitios de registro, mayor será la resolución y la capacidad para caracterizar las fuentes eléctricas cardíacas subyacentes. No obstante, este estudio se centrará exclusivamente en BSPM.

Para el fundamento original de BSPM, se planteó la siguiente hipótesis: la capacidad de visualizar los patrones dinámicos de los potenciales generados por el corazón proporciona una imagen más completa de las fuentes eléctricas subyacentes del corazón, relacionada con la vista limitada de seis derivaciones precordiales “unipolares” y las seis derivaciones de extremidades/aumentadas, de las cuales solo dos son independientes. Esto, a su vez, proporcionaría mejores medios para detectar y caracterizar la enfermedad subyacente, a saber: infarto, isquemia, alteraciones de la conducción, hipertrofia y miocardiopatía. Un razonamiento secundario, más poderoso, fue que la metodología de rápido desarrollo de la electrocardiografía inversa ofrecía una oportunidad para el cuerpo (Lux, 2010).

**Figura 3**

*Mapeo del potencial de la superficie corporal*

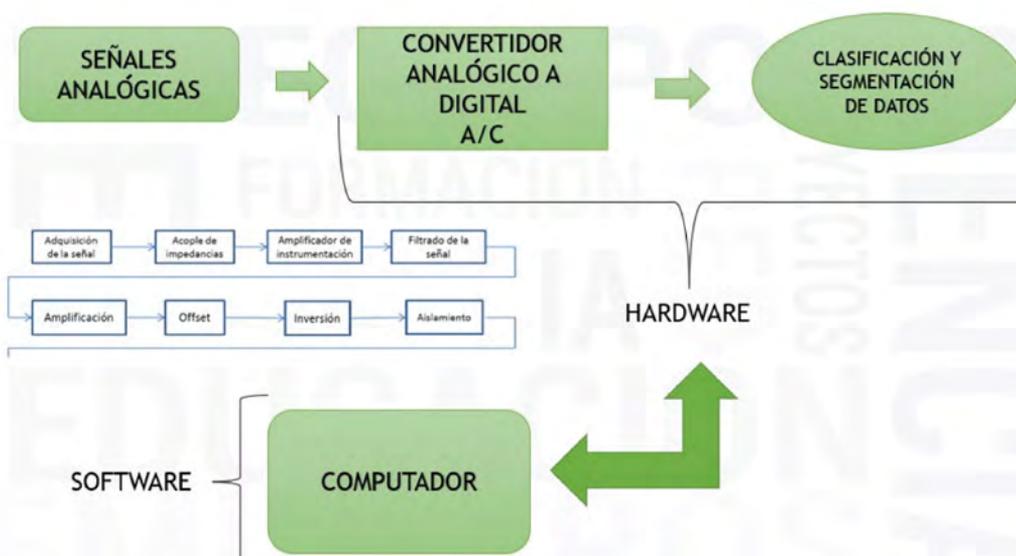


### 3. Metodología

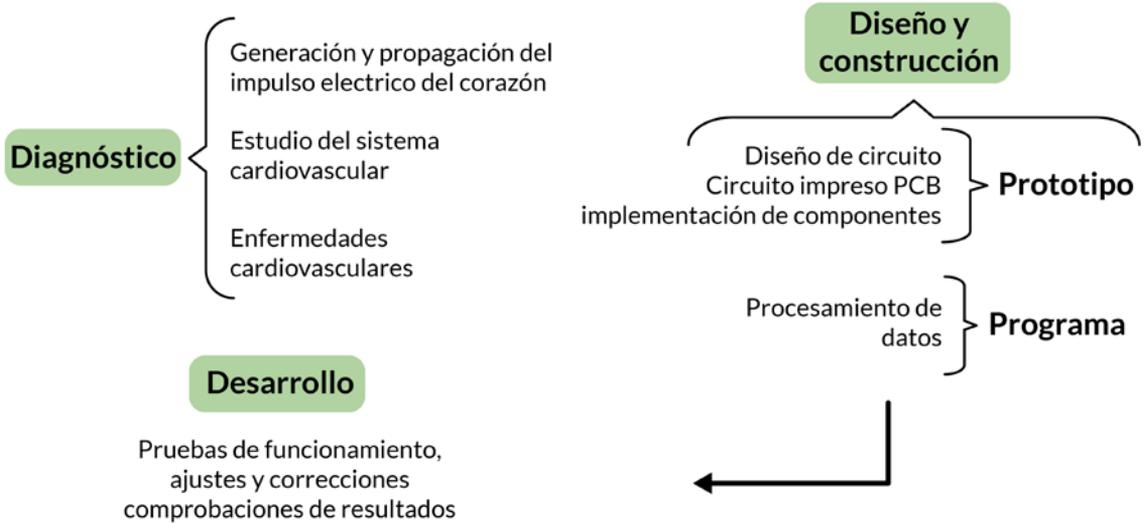
En este caso se utilizó el enfoque de investigación experimental.

**Figura 4**

*Enfoque de investigación*



## Diseño y construcción



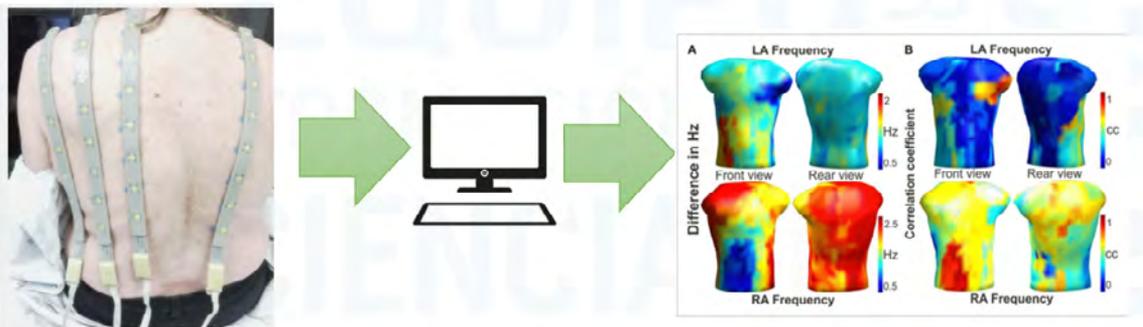
### 4. Discusión de resultados

Los resultados que se esperan de este proyecto son los siguientes:

Prototipo totalmente funcional y óptimo que funcione como una nueva herramienta potencial para el estudio de potenciales corporales electrocardiográficas.

#### Figura 5

Resultados esperados



## 5. Conclusiones

Es pertinente realizar el proyecto debido a que aporta una gran innovación en la región, ya que no se cuenta con este tipo de señales electrocardiográficas a través de BSMP.

Es pertinente el desarrollo de este prototipo debido a que en la región hay gran cantidad de casos por enfermedades cardiovasculares; según el IDNS, en el año (2018), se presentaron 1.115 muertes. Entre los municipios con mayor tasa de mortalidad por enfermedades cardiovasculares se encuentran los siguientes: Pasto con 758 (68 %), Tumaco con 233 (21 %) e Ipiales con 169 (11 %).

Se pretende que el prototipo sea una herramienta que ayude al sector médico para el estudio de señales electrocardiográficas.

## Referencias

- Barraza, Z. (2010). *El electrocardiograma* [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.]. Archivo digital. <http://mwm.cimav.edu.mx/wp-content/uploads/2015/04/TESIS-Zhenia-Patricia-Barraza.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018, 20 de octubre). *Estadísticas vitales*. Subdirección de Salud Pública, Oficina de Epidemiología, IDSN. <http://www.idsn.gov.co/index.php/subdireccion-de-salud-publica/epidemiologia/estadisticas-vitales>
- Lux, R. (2010). Body Surface Potential Mapping Techniques. En P.W. Macfarlane, A. Van Oosterom, O. Pahlm, P. Kligfield, M. Janse, J. Camm (Eds.), *Comprehensive Electrocardiology* (pp. 1361-1374). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-84882-046-3\\_31](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-046-3_31)
- Magrans, R. (2016). *Detección de Isquemia de Miocardio y estudio de la respuesta autónoma asociada mediante el procesamiento de la señal ECG* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. TDX. <https://www.tdx.cat/handle/10803/404305#page=1>
- Martínez-Espitia E., Méndez-Muñoz P., Paba-Rojas C., Rodríguez-Perdomo J. y Silva-Hernández, L. (2020). Mortalidad por enfermedad isquémica cardíaca según variables sociodemográficas en Bogotá, Colombia. *Revista Salud Bosque*, 10(1), 65-78. <https://doi.org/10.18270/rsb.v10i1.2828>
- Robinson, M., & Curzen, N. (2009). Electrocardiographic Body Surface Mapping: Potential Tool for the Detection of Transient Myocardial Ischemia in the 21st Century? *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 14(2), 201-210. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2009.00284.x>
- Trujillo, E. (2013). *Enfermedades crónicas no transmisibles. Modelo de atención integral para la prevención del riesgo cardiovascular*. Gobernación de Nariño. [http://idsn.gov.co/site/web2/images/documentos/cronicas/mod\\_cronicas\\_v12\\_2706\\_13.pdf](http://idsn.gov.co/site/web2/images/documentos/cronicas/mod_cronicas_v12_2706_13.pdf)