

## Ciencia, arte, tradición, opinión, reflexión y meditación.

Artículo: **Descifrando las señales del cuerpo humano**

Autor(es): **Dra. Blanca Tovar Corona**  
[bltovar@ipn.mx](mailto:bltovar@ipn.mx)

Publicación: **No. 2, vol. 2024**

Páginas: **23 - 40**

Reserva de derechos al uso exclusivo otorgado por el Instituto Nacional de Derecho de Autor (INDAUTOR): 04-2022-111717422400-102. ISSN: 2992-8648.

Las opiniones expresadas por los autores de artículos no necesariamente reflejan la postura del editor de esta publicación, o de los integrantes del Comité Editorial.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos aquí publicados, siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.



# Descifrando las señales del cuerpo humano

No. 2

Vol. 2024

Blanca Tovar Corona

[bltovar@ipn.mx](mailto:bltovar@ipn.mx)

Existen diferentes razones por las cuales registrar señales del cuerpo humano de manera no invasiva resulta de gran utilidad. Esto es posible gracias a la combinación de sensores, electrónica y algoritmos que se encargan de transformar datos en gráficas, comandos de control o decisiones para el diagnóstico. Una vez que tenemos los datos digitalizados, podemos utilizarlos con propósitos diversos. Por ejemplo, extraer información que pueda auxiliar a los médicos en el diagnóstico de enfermedades e incluso controlar prótesis o dispositivos por medio de las interfaces cerebro-computadora o como retroalimentación en un videojuego. Pero ¿cuál señal es la mejor para extraer información dependiendo del objetivo que se busca? ¿Cómo se registran las señales de cuerpo? ¿Qué sensores se requieren? ¿Cómo la digitalizo? ¿Cuáles son las técnicas de procesamiento que necesito conocer? ¿Se puede usar inteligencia artificial? ¿Por qué se requieren dispositivos portables o usables? Estas son algunas de las preguntas que se resolverán en el artículo, que pretende dar a conocer el proceso completo para transformar una señal en información útil, desde su adquisición por medio de sensores hasta su forma final, ya sea para visualización, almacenamiento, diagnóstico o control. Se describirán las etapas necesarias con ejemplos gráficos que permitan comprender la importancia de señales ampliamente utilizadas como la *electrocardiografía*.

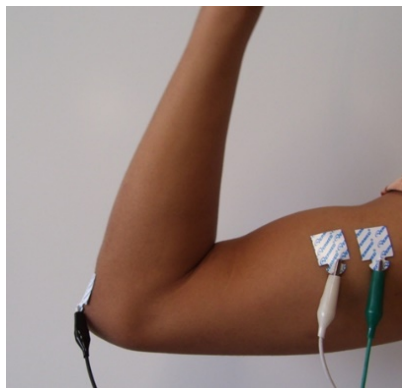
Se mencionará la importancia de los grupos *interdisciplinarios* y la necesidad de conocer tanto los sistemas biológicos como las herramientas matemáticas para procesar los datos y aprender a seleccionarlas.

## ¿Señales en el cuerpo humano?

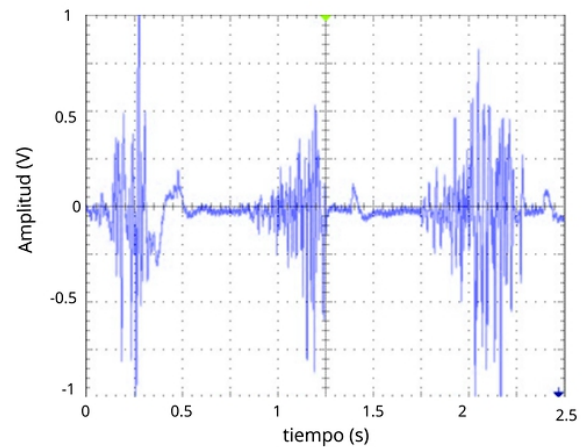
Nuestro cuerpo trabaja todo el tiempo llevando a cabo funciones que nos mantienen vivos y no somos conscientes de la mayoría de ellas, pero, con uso de

tecnología podemos registrarlas y hacerlas visibles para estudiarlas. Dos ejemplos muy claros son nuestra respiración y el latido de nuestro corazón. Los adolescentes y adultos sanos respiramos entre 12 y 20 veces por minuto y, nuestro corazón late de 60 a 100 veces por minuto, dependiendo de la edad y condición física, todo ello sin hacer ningún esfuerzo consciente. Con el uso de dispositivos electrónicos es posible registrar estas señales de nuestro cuerpo, de manera no invasiva, y así proporcionar a los médicos información sobre nuestro estado de salud y complementan sus hallazgos para hacer un diagnóstico, recomendar un tratamiento y dar seguimiento. No invasiva, significa que los sensores o electrodos se colocan sobre la piel y no se introduce ningún dispositivo en el cuerpo. En este artículo solo hablaremos de sistemas no invasivos.

Existen diferentes formas de registrar las señales dependiendo de su origen, es decir, de la forma en que nuestro cuerpo las genera. Nos referiremos a estas señales como señales fisiológicas. Por ejemplo, podemos medir la actividad eléctrica de los músculos, ya sea músculo esquelético o músculo cardiaco. En este caso, se utilizan electrodos de plata con un recubrimiento de cloruro de plata y un gel conductor para hacer un buen contacto con la piel. Esta técnica se llama *electromiografía* y la señal fisiológica que se registra se le llama señal *electromiográfica*. Si queremos medir la actividad del bíceps, colocamos dos electrodos sobre la piel, en donde el bíceps muestra su masa muscular más grande al contraerse, y otro electrodo más como referencia en el codo, sobre el hueso, como se muestra en la Figura 1. Si queremos medir la actividad eléctrica del corazón, podemos colocar dos electrodos sobre la piel, uno a cada lado del pecho y otro más sobre la piel que cubre el hueso de la cadera, en la cresta ilíaca, como referencia. Esta técnica se llama *electrocardiografía* y la señal, *electrocardiograma*. Ambas se abrevian con el acrónimo *ECG*.



(a)



(b)

**Figura 1. a) Posición de electrodos para medir la actividad eléctrica del bíceps. b) Señal amplificada y filtrada de tres contracciones musculares**

Pero ¿para qué nos sirven estas señales? En el caso de la señal *electromiográfica*, se puede utilizar para hacer diagnóstico sobre el funcionamiento de los músculos y su conexión con el sistema nervioso. Por ejemplo, después de haber tenido un accidente que dañase, ya sea al músculo o a los nervios que llevan la información para que se mueva. También podría servir para controlar una prótesis para quienes han tenido amputación de mano o antebrazo. En el caso del corazón, es muy importante para dar seguimiento, sobre todo a las personas que padecen cardiopatías que ponen en riesgo su vida, lo cual requiere de un constante monitoreo, ya sea en una cama de cuidados intensivos, durante una cirugía o incluso en la vida diaria. Pero también es muy útil para que los médicos generen un diagnóstico y, otra aplicación podría ser, para dar seguimiento a deportistas y astronautas en sus entrenamientos.

Además, existen otras señales muy útiles y cada una tiene una técnica de registro. Algunas de ellas son: la *electroencefalografía*, para medir la actividad eléctrica del cerebro; la *electrooculografía*, para medir la actividad eléctrica del movimiento de los ojos; la actividad *electrodérmica*, para medir la conductividad de la piel y, la *electrogastrografía*, para medir la actividad eléctrica del estómago. Cada una de ellas proporciona información útil cuando los médicos las interpretan, ya que cada una tiene características diferentes en amplitud, forma y frecuencia. Lo que tienen en común todas las que se han mencionado hasta ahora, es que se pueden

registrar por medio de electrodos superficiales que se colocan sobre la piel, sin ningún riesgo para los pacientes.

En el caso de *electroencefalografía*, los electrodos se colocan en la piel de la frente y en el cuero cabelludo, pero, son más pequeños, en forma de copa y con un recubrimiento de oro. También, se usa una pasta conductora para mejorar la conductividad entre el electrodo y el cuero cabelludo. En la figura 2 se muestra este tipo de electrodos, así como electrodos de plata, con recubrimiento de cloruro de plata, que tienen la misma función que los mostrados en la figura 1. Los electrodos de oro no son desechables, se limpian después de usarlos y se reutilizan mientras su recubrimiento esté en buen estado. En cambio, los electrodos de plata son desechables y tienen un tiempo de uso limitado, dependiendo de la actividad que esté realizando el paciente. Si está en reposo y no hay sudor, se pueden utilizar hasta por 24 horas, pero si se usan en actividad y hay sudor, durarán algunos minutos.



(a)



(b)

**Figura 2. Ejemplos de electrodos superficiales.**

**a) Electrodos de copa con recubrimiento de oro para electroencefalografía.**

**b) Electrodos desechables de plata-cloruro de plata para uso pediátrico, se pueden usar para electrocardiografía y electromiografía.**

Además de los electrodos se requiere preparar la señal para que se pueda visualizar o almacenar para su interpretación. Para ello se necesita hacerla más grande, es decir, amplificarla, ya que son señales muy pequeñas, del orden de una milésima de *Volt* e incluso de una millonésima de *Volt*. Después, se limpia de ruido, es decir, todo aquello que está fuera del rango en frecuencia que nos interesa. Este ruido puede venir de otra señal del cuerpo o del exterior, incluso, un ruido muy común es el de 60 Hz, que proviene de nuestra línea de

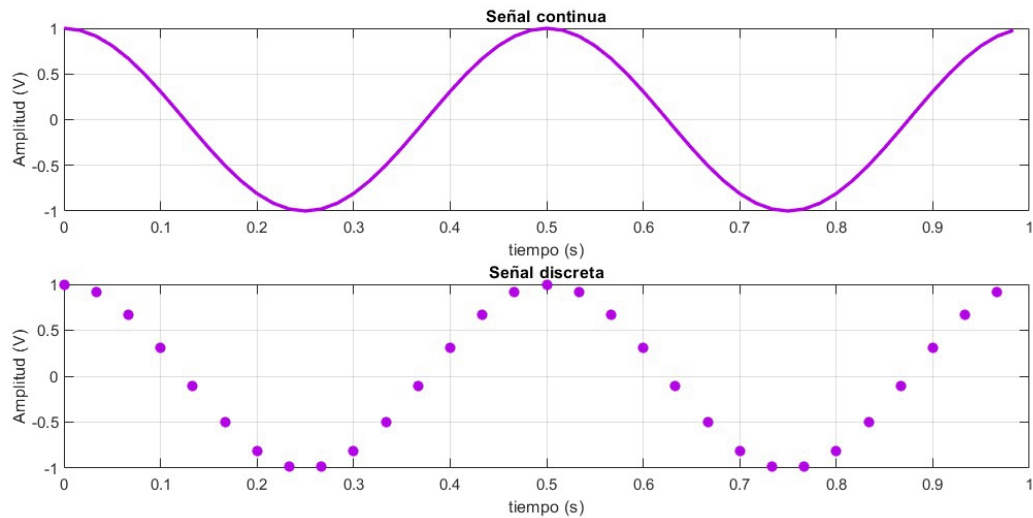
alimentación eléctrica, con la que alimentamos todos nuestros aparatos eléctricos y electrónicos.

Para amplificarlas utilizamos dispositivos electrónicos diseñados específicamente para estas señales fisiológicas, ya que, como mencionamos, son muy pequeñas. Para eliminar el ruido, usamos filtros que dejan pasar las señales que nos interesan y atenúan todo lo demás. Estos filtros también son diseñados especialmente para cada señal, ya que, cada una presenta patrones de diferente duración, forma y amplitud.

Existen otras formas de registrar señales del cuerpo que no son actividad eléctrica, por ejemplo, sonidos, tales como: sonidos respiratorios, sonidos intestinales y sonidos cardiacos. Estos sonidos, los escuchan los médicos de manera rutinaria, usando su estetoscopio, pero, si se registran con un *estetoscopio* electrónico, tiene la ventaja de que se pueden almacenar y ver simultáneamente en una monitor o pantalla de teléfono celular. En estas señales, el sensor no es un electrodo, sino un micrófono que captará las vibraciones y las convertirá en señales eléctricas que, también se amplifican y se filtran para que se puedan visualizar, almacenar y analizar.

## ***¿Cómo podemos ver las señales del cuerpo humano?***

Visualizar, fue la primera ventaja que se tuvo al ser posible el registro de las señales fisiológicas, a finales del siglo XIX pasando por varias etapas de rediseño, hasta llegar a los modernos electrocardiógrafos portátiles que existen hoy en día. Con los avances en la tecnología digital y la introducción de computadoras personales, se hizo posible su visualización en los monitores. Esto implica, que la señal analógica, que es una señal continua en el tiempo, sea transformada en una señal discreta, es decir, que, contiene muestras de la señal continua cada determinado tiempo, tan corto, que parece no perderse información. Esto lo hace un convertidor analógico-digital, transformando la señal en datos binarios, es decir, en unos y ceros, que es el lenguaje de las computadoras. En la figura 3 se muestra la comparación de una señal continua y una discreta.



**Figura 3. Comparación de una señal continua (analógica) y una señal discreta. La amplitud se mide en Volts (V) y el tiempo en segundos (s).**

En esta figura también podemos revisar el concepto de *frecuencia*, ya que se muestra una señal periódica, es decir, se repite cada determinado tiempo. En este caso, se repite cada medio segundo, por lo tanto, en un segundo tenemos dos ciclos completos. Recordando que la frecuencia se mide en ciclos por segundo o *Hercios* (Hz), entonces esta señal tiene una frecuencia de 2 Hz. Es importante entender este concepto, ya que, es una de las diferencias de las señales fisiológicas, cada una de ellas tiene un rango específico en el que contiene información, y de ello depende el diseño de los filtros para eliminar el rango que no es de interés.

Si la señal tuviera una frecuencia de 3 Hz, veríamos 3 ciclos completos en un segundo, y si fuera de 100 Hz, 100 ciclos completos. Sin embargo, ya no sería práctico contarlos visualmente. Para ello existen herramientas de procesamiento de señales digitales, que, por medio de un algoritmo, podemos calcular las frecuencias que contiene una señal, ya que no contienen una sola frecuencia, sino varias señales de diferentes frecuencias que ocurren simultáneamente y que se suman, presentando patrones distintos, algunas veces muy fáciles de identificar, como es el caso de la *electrocardiografía*. En otros casos, como el de la

*electromiografía*, parecen completamente aleatorios, como se observan en las contracciones registradas de la figura 1.

La transformación de una señal analógica en una señal digital consta en tres etapas. La primera consiste en tomar muestras de la señal continua o analógica. En la figura 3 se observan 30 muestras en un segundo, es decir, se usó una tasa de muestreo de 30 muestras por segundo. Como se observa en la gráfica, entre cada uno de los puntos, no hay señal, esa información se pierde y si no tomamos muestras lo suficientemente cercanas, perderíamos demasiada información y la señal no sería útil. Este es el primer detalle que se debe cuidar al muestrear una señal, seleccionando correctamente la tasa de muestreo y por consecuencia seleccionando el convertidor adecuado, capaz de tomar las muestras tan rápido como se requiera. Al tiempo entre muestras se le llama periodo de muestreo y es constante para la duración del registro.

La segunda etapa consiste en aproximar el valor muestreado al valor más cercano que nos puede dar el convertidor, dependiendo del número de bits. Los convertidores más comunes tienen 8, 10, 12, 16 y 32 bits. A mayor número de bits, mayor es el número de valores que puede transformar. Por ejemplo, un convertidor de 8 bits tiene  $2^8 = 256$  posibles valores; del 0 al 255, donde 0 representa el valor más pequeño y 255 el valor más alto. Si el convertidor trabaja en un rango de -5 V a 5 V, el 0 equivale a -5 V y el 255 a 5 V. El rango en amplitud en el que trabajan los convertidores también es una propiedad que debemos cuidar al seleccionarlos.

La tercera etapa consiste en transformar los valores de las muestras en números binarios, como se muestra en la tabla 1, ejemplificando un convertidor de 8 bits. Esto significa que cada una de las muestras que se tomaron ahora estarán representadas por el número de bits que tiene el convertidor, por lo tanto, entre más bits tiene, requerirá más espacio de almacenamiento cada una de las muestras, es decir, más memoria.

Número decimal	Número binario	Amplitud (V)
0	00000000	-5 V
1	00000001	-4.92
2	00000010	-4.88
3	00000011	-4.84
⋮	⋮	⋮
253	11111101	4.88
254	11111110	4.92
255	11111111	5

**Tabla 1. Ejemplo de conversión de número decimal a número binario para un convertidor de 8 bits con un rango de -5 V a 5 V.**

En resumen, para transformar una señal analógica en digital, debemos seleccionar un convertidor con las capacidades que se requieran, esto es: rango de amplitud, número de bits y, velocidad de muestreo. Y para esto debemos conocer las características de las señales fisiológicas tanto en amplitud como en frecuencia, así como la aplicación que se le dará, para diseñar los amplificadores y filtros correctos. Más adelante hablaremos de características específicas de algunas señales fisiológicas.

Después de la tercera etapa, ya tenemos una señal digital, que podemos visualizar, almacenar y analizar para extraer información por medio de técnicas de procesamiento. En la siguiente sección hablaremos de algunas técnicas que podemos utilizar para extraer información.

### ***¿Cómo extraemos información de las señales?***

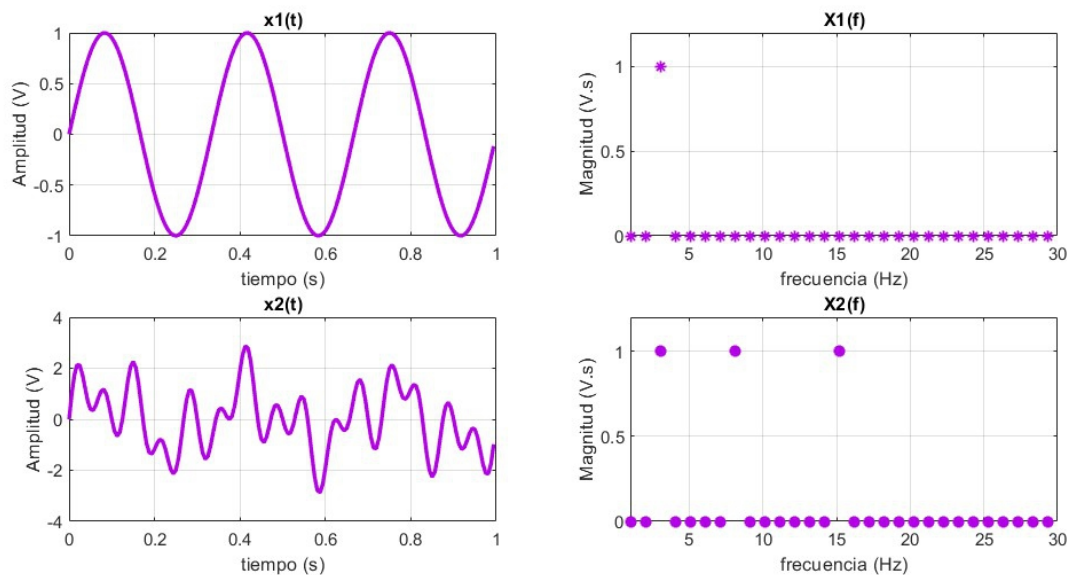
Una de las ventajas de tener las señales en forma digital, es que podemos analizarlas usando algoritmos que lo realizarán de manera automática, ahorrándonos tiempo y encontrando patrones que nos son obvios a simple vista. Además, evitan subjetividad debida a la experiencia, habilidad y destreza de quien interpreta una gráfica por apreciación visual.

Estos algoritmos los podemos implementar si tenemos los conocimientos necesarios, tanto en fundamentos matemáticos como en conocimientos de programación. Pero también existen herramientas computacionales ya desarrolladas para que seamos usuarios de ellas, permitiendo que nos

concentremos en la interpretación de los cálculos. Ejemplos de estos son *MATLAB*® y *Python*, que incluyen bibliotecas específicas para procesamiento de señales, facilitando el análisis de los datos para la extracción de los parámetros que pueden servir en la identificación de anomalías.

En el análisis de las señales se puede partir del cálculo de variables de estadística descriptiva, tales como la media, mediana, moda, varianza desviación estándar, asimetría y curtosis. Pero no siempre es suficiente este análisis y se requiere de otras herramientas. Una muy utilizada es la transformada de *Fourier*, que descompone la señal en sus componentes en frecuencia. Para comprender su funcionamiento podemos hacer una analogía con un prisma que, descompone en colores la luz que pasa a través de él. Cada color tiene una frecuencia en el espectro electromagnético, en el rango visible. En el caso de las señales fisiológicas, no se encuentran en el rango de frecuencias visibles, pero al tenerlas en formato digital, las podemos mostrar en una gráfica y ver su comportamiento, tanto en el dominio del tiempo, como en el dominio de la frecuencia, en la cual se observan las frecuencias presentes, que no se pueden medir a simple vista en el dominio del tiempo.

Pero, ¿porqué necesitamos transformar las señales al dominio de la frecuencia? En el ejemplo que se muestra en la figura 3, es muy fácil calcular la frecuencia de la señal porque es una señal periódica, es decir, se repite exactamente igual cada determinado tiempo, pero cuando se trata de las señales fisiológicas, esto no sucede. En realidad, es una suma de muchas señales de diferentes frecuencias y al combinarse ya no es posible saber, por inspección visual, cuántas señales de diferentes frecuencias están presentes y cuáles dominan. En la figura 4 se muestra un ejemplo de transformación de las señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia usando la transformada rápida de *Fourier*, utilizando un comando en *MATLAB*®. Este es un ejemplo de los algoritmos que podemos utilizar sin tener que implementarlos. Se llama transformada rápida porque es un algoritmo eficiente para calcular la transformada discreta de *Fourier*, la versión para datos digitales de la transformada de *Fourier*.



**Figura 4. Señales en el dominio del tiempo (lado izquierdo) y en el dominio de la frecuencia (lado derecho).**

Observamos en la figura 3, en la gráfica superior izquierda, que hay una señal periódica con frecuencia 3 Hz, ya que se repite exactamente igual, 3 veces en un segundo; y a su derecha se encuentra su representación en el dominio de la frecuencia, en donde se aprecia un punto de magnitud 1 exactamente en 3 Hz. Para calcular la frecuencia de esta señal, no necesitamos ninguna herramienta, más que contar los ciclos por segundo, sin embargo, en la señal mostrada en la gráfica inferior izquierda, ya no es posible calcular cuántas y cuáles frecuencias se encuentran presentes en la señal, con solo verla. En cambio, en la gráfica que se encuentra a su derecha apreciamos que hay 3 puntos con magnitud 1. Esto quiere decir que hay 3 señales con diferentes frecuencias que se suman en el tiempo, es decir, que suceden simultáneamente y al sumarse, ya no se ve la repetición de los ciclos, pero en la gráfica podemos ver que están presentes 3 señales de misma amplitud, con frecuencias de 3 Hz, 8 Hz y 15 Hz.

En las señales fisiológicas no solo hay 3 señales de diferentes frecuencias, hay muchas más y la transformada de *Fourier* nos ayuda a extraerlas.

### **¡El corazón nos da señales!**

Como sabemos, el corazón es un órgano cuya función es bombear sangre a los pulmones para mantener nuestra sangre oxigenada. Esto lo hace recibiendo

sangre de todo nuestro cuerpo, y lo lleva a los pulmones para hacer intercambio de gases y la regresa a nuestro cuerpo. Para comprender este funcionamiento podemos ver al corazón, de forma simplificada, como un sistema electromecánico e hidráulico. Si, tiene su propia instalación eléctrica y un sistema de cuatro cámaras que coordinadamente se llenan y vacían por medio de cuatro válvulas. Recordemos que todo el corazón es un músculo, que se puede contraer y relajar. Un sistema mecánico en perfecta sincronía, que mantiene un fluido en movimiento, la sangre.

El sistema eléctrico consta de un marcapasos que genera impulsos eléctricos que, al pasar por el sistema nervioso, o cableado de corazón, provoca que el músculo cardiaco se contraiga. Este impulso eléctrico comienza en las cámaras superiores del corazón, o aurículas y continúa su propagación hacia las cámaras inferiores o ventrículos. Las aurículas también se llaman cámaras de pre-llenado ya que ellas reciben la sangre del cuerpo o de los pulmones por medio de venas y al contraerse empujan la sangre hacia los ventrículos. Pero primero se tiene que abrir las válvulas que hay entre las aurículas y los ventrículos, gracias a la diferencia de presión que se produce cuando las aurículas se contraen, como exprimiendo el fluido. Al llenarse los ventrículos, ahora las válvulas se ven forzadas a cerrarse, pero ahora el impulso eléctrico ha alcanzado el músculo de los ventrículos. Es el turno de los ventrículos para empujar la sangre hacia las arterias que la llevarán a los pulmones o al cuerpo, una vez que las válvulas que están a la entrada de las arterias se abren. Al bajar la presión en los ventrículos, las válvulas se cerrarán y comenzará de nuevo el ciclo con el llenado de las aurículas.

Entonces, podemos registrar al menos dos señales del corazón: la señal eléctrica o *ECG* y la señal sonora que provoca el abrir y cerrar de las válvulas cardiacas y la turbulencia en la sangre, señal *fonocardiográfica* o *FCG*. La primera, como ya vimos, se puede registrar por medio de electrodos colocados sobre la piel y la segunda, por medio de un estetoscopio electrónico, el cual tiene un micrófono y electrónica para captar el sonido que hace nuestro corazón. La información que proporcionan no es la misma, en cambio, se complementan. Una nos permite conocer el funcionamiento eléctrico y la otra, el mecánico. Al registrarlas de

manera simultánea, se observa su relación, como se muestra en la figura 4.

En esa figura se observa, en la gráfica superior, el registro de 5 segundos de *ECG* en donde se muestran 6 ciclos cardiacos completos; mientras que en la gráfica inferior se muestra el registro simultáneo de un *FCG*. En cada ciclo cardiaco se observan algunas diferencias, lo cual es normal, los ciclos no son idénticos, pero hay formas muy similares que se identifican claramente en ambas gráficas.

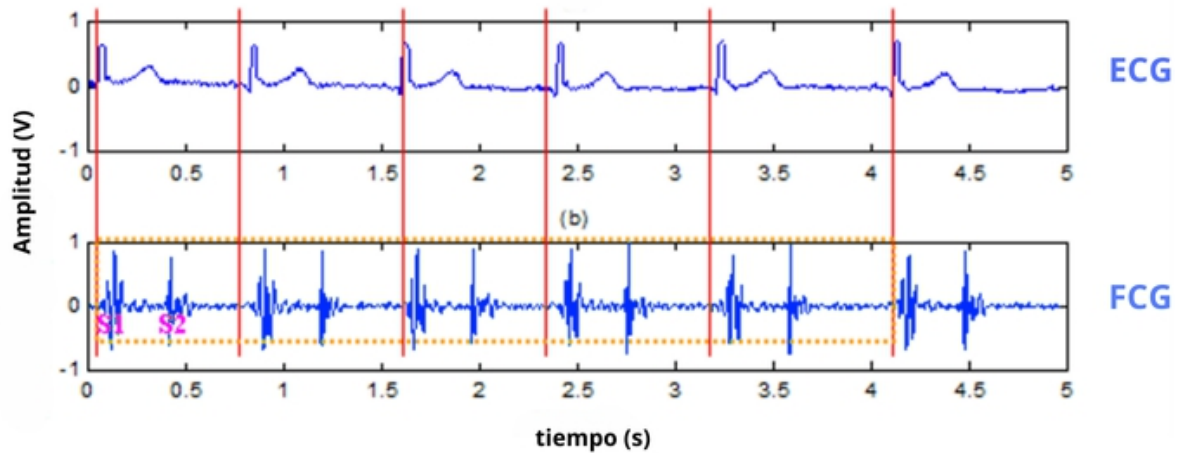


Figura 5. ECG y FCG registrados simultáneamente en un hombre sano de 29 años.

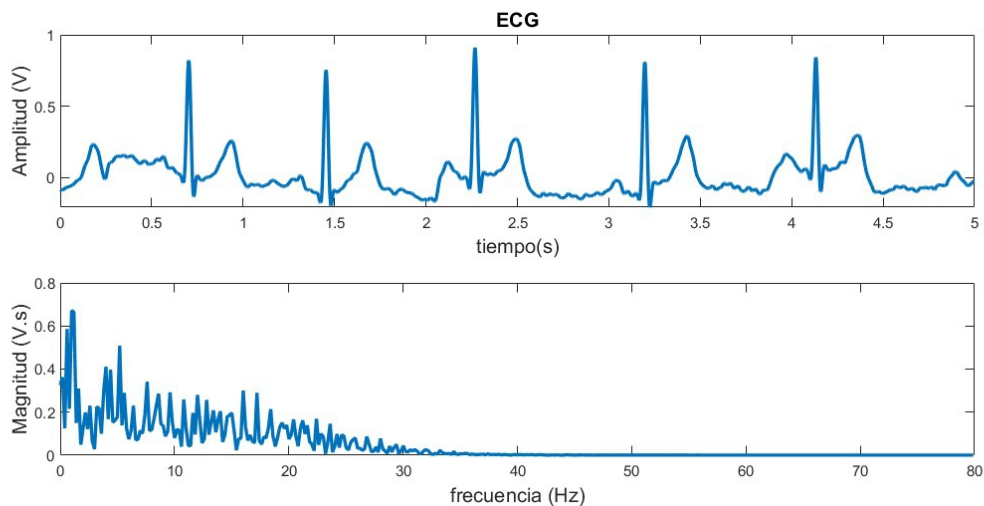
En el ECG se observa un pico muy grande, el cual representa la actividad eléctrica del corazón cuando los ventrículos se contraen, es decir, está expulsando la sangre hacia el cuerpo y hacia los pulmones. El siguiente pico, menos pronunciado y más suave en su forma, representa a los ventrículos relajándose, es decir, llenándose.

En el FCG se observan dos eventos en cada ciclo, señalados en la gráfica en color rosa como S1 y S2. Estos son los dos sonidos que escuchamos en nuestro corazón en cada latido, los cuales coinciden con el vaciado y llenado de los ventrículos en el ciclo cardiaco, que se llaman sístole y diástole (contracción y relajación).

También se puede observar que, cada ciclo cardiaco dura aproximadamente 0.8 segundos, es decir, menos de un segundo. Esto nos da una frecuencia cardiaca de 75 latidos por minuto (al dividir  $60/0.8$ ). La forma de onda característica del ECG cambia cuando el sistema eléctrico del corazón cambia, puede deformarse o incluso desaparecer alguna de sus partes. En el FCG, al existir problemas

mecánicos, principalmente debidos al mal funcionamiento de las válvulas cardiacas, también se distorsiona la señal y se ven ruidos extras, incluso sin distinguirse claramente los dos sonidos principales. Esto pasa cuando una o más válvulas, no abren o cierran completamente, provocando turbulencia extra en las cavidades del corazón, a estos ruidos extras se les conoce como soplos.

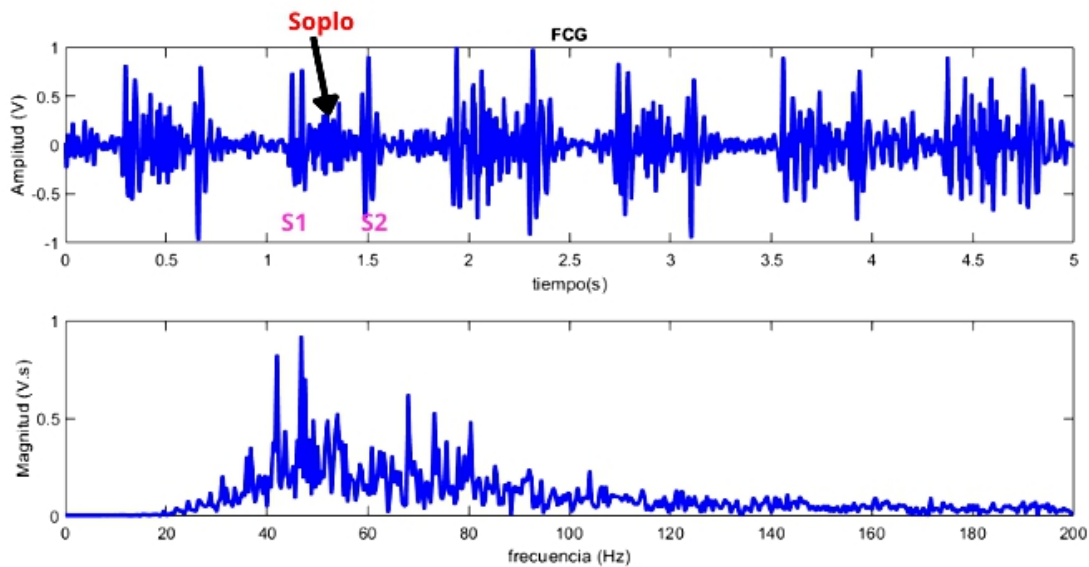
En la figura 5 se observa un registro de 5 segundos de ECG en el dominio del tiempo, en la gráfica superior y, en el dominio de la frecuencia en la gráfica inferior. Vemos de nuevo el patrón característico de la actividad eléctrica del corazón en el dominio del tiempo; y el dominio de la frecuencia se aprecia que es una combinación de señales de diferentes frecuencias, principalmente entre 0.5 Hz y 20 Hz.



**Figura 6. ECG en el dominio del tiempo (gráfica superior) y ECG en el dominio de la frecuencia (gráfica inferior).**

En la figura 7, se observa un registro de 5 segundos de FCG, pero esta vez no es tan obvio ver los ciclos cardiacos en la gráfica del dominio del tiempo (superior) debido a que la señal proviene de un paciente con un soplo cardiaco. Este se encuentra entre S1 y S2, es decir, ocurre durante la sístole, en este caso se debe a que la válvula aórtica no abre completamente, lo que causa mayor turbulencia en la sangre. Haciendo la analogía con una manguera por la cual está pasando líquido, si se oprime, el líquido ya no puede pasar libremente y se escucha un sonido diferente a cuando pasa sin esfuerzo. En la gráfica inferior se observan que

el sonido cardiaco también es una combinación de muchas señales de diferentes frecuencias, principalmente entre 40 y 90 Hz.



**Figura 7. FCG en el dominio del tiempo (gráfica superior) y el FCG en el dominio de la frecuencia (gráfica inferior).**

¿Por qué hablar del corazón y sus señales? Porque las enfermedades cardiovasculares siguen siendo la causa principal de muertes en todo el mundo y muchas de ellas se pueden evitar si se tratan a tiempo, pero todo depende de tener una cultura de prevención, en donde nos hagamos chequeos periódicamente, incluso en jóvenes y niños, ya que existen algunas anomalías de origen genético, que, si no se detectan oportunamente, pueden causar muerte súbita.

### ***Dispositivos portátiles, usables e... ¿inteligentes?***

Las señales que se han mostrado hasta ahora se registraron con un equipo portátil, es decir, que es fácil de transportar, por su tamaño y peso, se puede llevar a diferentes lugares en donde exista corriente eléctrica. Esto permite que los equipos se puedan trasladar a hospitales, clínicas e incluso a los hogares de los pacientes. Pero no son tan pequeños y ligeros para usarlos todo el tiempo en la vida cotidiana. Para ello se requieren dispositivos usables, es decir, que los podemos llevar como una prenda de ropa o accesorio, sin que altere nuestras actividades cotidianas. Un ejemplo de ello son los relojes inteligentes, que se

pueden usar todo el tiempo y registran de manera continua nuestros signos vitales, aunque no de la misma manera que lo hace un ECG, ya que utilizan sensores distintos, que de manera indirecta pueden medir señales como la frecuencia cardiaca, pero no se puede observar la misma forma de una señal ECG y no sirve para el mismo propósito.

En este sentido, aún falta desarrollar dispositivos que midan señales del cuerpo de manera continua, para llevar un registro constante durante la vida cotidiana y así evaluar la salud de los pacientes en todo momento y desde cualquier lugar.

El desarrollo de estos dispositivos requiere del trabajo interdisciplinario de personal especializado tanto en el área médica, ingeniería electrónica, biomédica o biónica y diseño industrial, para generar productos certificados que garanticen el correcto registro de las señales fisiológicas para ser evaluadas por personal médico e incluso para ser analizadas automáticamente usando técnicas de procesamiento de señales y técnicas de inteligencia artificial capaces de detectar anomalías.

Para lograr un dispositivo “inteligente”, se necesita contar con bases de datos que contengan los casos de anomalías que se quieren detectar, no solo de unos cuantos pacientes, sino de cientos de ellos, ya que, hay muchas variables que pueden cambiar entre seres humanos, y lograr que sean robustos, los sistemas inteligentes deben de entrenarse con la mayor cantidad de casos posibles.

Como podrás ver, la generación de un dispositivo de registro y análisis de señales, que sea útil para el monitoreo de la salud, implica tener conocimientos de diversas áreas, como anatomía, fisiología, fisicoquímica, especialidades médicas como la cardiología, materiales, bioinstrumentación, matemáticas, procesamiento de señales, programación, bases de datos e incluso, técnicas de inteligencia artificial. Es por ello que, no es suficiente un equipo de ingenieros o un equipo de médicos, sino, un equipo de personas con diferente formación, para que, combinando su conocimiento, se logren diseños útiles, beneficiando a la población con diagnósticos certeros y de preferencia en el menor tiempo posible, para así mejorar la calidad de vida de todos. Además, con el uso de dispositivos

usables e inteligentes, se promueve que cada uno de nosotros nos hagamos responsables de nuestro estilo de vida, al tener información actualizada, sabiendo que las señales que generamos nos informan de nuestro estado de salud y así tomar decisiones de manera oportuna, evitando que las enfermedades avancen a estados críticos.

¿Te gustaría ayudar a la gente a cuidar de su salud, ya sea mejorando o previniendo? Ahora sabes que lo puedes hacer desde distintas profesiones, todas son importantes y todas aportan a resolver problemas. Aquí solo hemos hablado de algunas técnicas de registro de señales fisiológicas, pero hay muchas más. Por otro lado, existen otros procedimientos para ver el funcionamiento del cuerpo, como son las imágenes o el video, a través de las cuales se pueden ver las partes anatómicas, ya sea en una sola imagen, como las radiografías, o el funcionamiento de algún órgano, también de manera no invasiva, como el ultrasonido. Un ejemplo es el *ecocardiograma*, el cual permite ver el movimiento de las 4 cámaras del corazón y sus correspondientes válvulas, incluso, el flujo de la sangre, pero eso... es otro tema, que trataremos próximamente.

### **Para conocer más, consulta:**

- 1) *Medical Instrumentation: Application and Design, 5th Edition*

John G. Webster (Editor), Amit J. Nimunkar (Editor)

Wiley.

- 2) *Muerte súbita cardiaca. Estratificación de riesgo, prevención y tratamiento*

Humberto Rodríguez-Reyes, Mayela Muñoz Gutiérrez, Manlio F. Márquez, Gerardo Pozas Garza, Enrique Asensio Lafuente, Fernando Ortíz Galván, Susano Lara Vaca, Vitelio Augusto Mariona Montero.

Archivos de cardiología de México, Elsevier, Vol. 85, Num. 4, Páginas 329-336 (octubre - diciembre 2015), DOI: 10.1016/j.acmx.2015.06.002

- 3) *Dalcame, Grupo de Investigación Biomédica*

Electrocardiografía: <https://www.dalcame.com/ecg.html>

Fonocardiografía: <https://www.dalcame.com/fono.html>

## Glosario de términos

**Amplitud:** En este texto nos referimos a la amplitud de una onda eléctrica, y se mide desde el punto mínimo hasta el punto máximo; su unidad de medida en este caso es Volts.

**Asimetría:** es una medida estadística que nos describe la morfología de la distribución de un conjunto de datos, es decir, si hay sesgo en la forma de su histograma, a la derecha, a la izquierda o si es asimétrico.

**Atenuar:** cuando atenúamos una señal, quiere decir que la reducimos en amplitud, la hacemos más pequeña, es lo opuesto a amplificar.

**Cardiopatías:** son enfermedades que afectan al sistema cardiovascular, es decir, al corazón o vasos sanguíneos (venas, vénulas, arterias, arteriolas y capilares).

**Ciclos:** cuando una onda eléctrica oscila, se llama ciclo al recorrido de la onda desde su inicio hasta antes de que se repita. Al intervalo de tiempo que dura ese ciclo, se le llama periodo.

**Contracción:** en este texto nos referimos a una contracción muscular, es decir, cuando los músculos acortan su tamaño al recibir un estímulo, en este caso, del sistema nervioso. Esto sucede cuando hacemos fuerza para movernos, jalar un objeto, sostener algo pesado o hacer abdominales, por ejemplo. Estos músculos se llaman músculos esqueléticos, ya que son los encargados de hacer que nuestra estructura ósea, o esqueleto, se mueva. El corazón, es un órgano formado por músculo cardíaco que se contrae y dilata para bombear la sangre, es decir, acorta su tamaño para expulsar la sangre y se dilata para dejar entrar la sangre.

**Convertidor analógico digital:** es un dispositivo electrónico que transforma una señal continua o analógica en una señal discreta o digital, para que pueda ser procesada utilizando una computadora, microcontrolador o microprocesador. Las señales de nuestro cuerpo, suceden de manera continua, pero las computadoras solo utilizan datos discretos, es por ello que se necesita un convertidor.

**Curtosis:** es una medida estadística que nos describe la morfología de la distribución de un conjunto de datos, nos dice que tan achatado o apuntado es su histograma.

**Electromiografía:** es una técnica de registro de la actividad eléctrica de los músculos, es decir, la forma en la que responden los músculos a un estímulo del sistema nervioso. Por ello se utiliza para el diagnóstico tanto del sistema muscular como del sistema nervioso.

**Fonocardiografía:** es una técnica de registro de los sonidos del corazón. Consiste en captar los sonidos en el pecho por medio de un micrófono, para transformar los sonidos en señales eléctricas, amplificarlas, filtrarlas y que se pueden digitalizar por medio de un convertidor analógico digital para procesarlas en una computadora, microcontrolador o

microprocesador.

**Frecuencia:** en una onda eléctrica, la frecuencia es el número de veces que se repite en un segundo y se mide en Hertz (ciclos por segundo). Es la inversa del periodo.

**Hercios:** es la unidad de frecuencia en el sistema internacional de unidades. Se abrevia Hz. Y significa ciclos por segundo.

**Músculo cardíaco:** es un tipo de músculo estriado que forma la mayor parte de las paredes del corazón. También se llama miocardio.

**Músculo esquelético:** es un tipo de músculo estriado, unido al esqueleto, que al contraerse y dilatarse provoca el movimiento de nuestro cuerpo, para caminar, parpadear, masticar, etc.

**Señal analógica:** es una señal que varía de forma continua a lo largo del tiempo, es decir existe todo el tiempo.

**Señal discreta:** es una secuencia de números que representa el comportamiento de una variable, pero que ha sido muestreada y existe solo en intervalos periódicos. Si esta señal se cuantifica y se codifica, ya es una señal digital.

**Señal fisiológica:** Es una variable física que contiene información sobre el cuerpo humano, el comportamiento de algún órgano o sistema.

**Tasa de muestreo:** es la cantidad de muestras que se toman por segundo de una señal analógica para convertirla en una señal digital.