



**Universidad  
de Valparaíso**  
CHILE

# Introducción a los sistemas de medición biomédica

Mediciones Biomédicas 2024

Ingeniería Civil Biomédica

Alejandro Veloz

[alejandro.veloz@uv.cl](mailto:alejandro.veloz@uv.cl)

## **Lectura complementaria:**

Capítulo 1, J.G. Webster, Medical Instrumentation: Application and Design, 4th Edition, 2010.

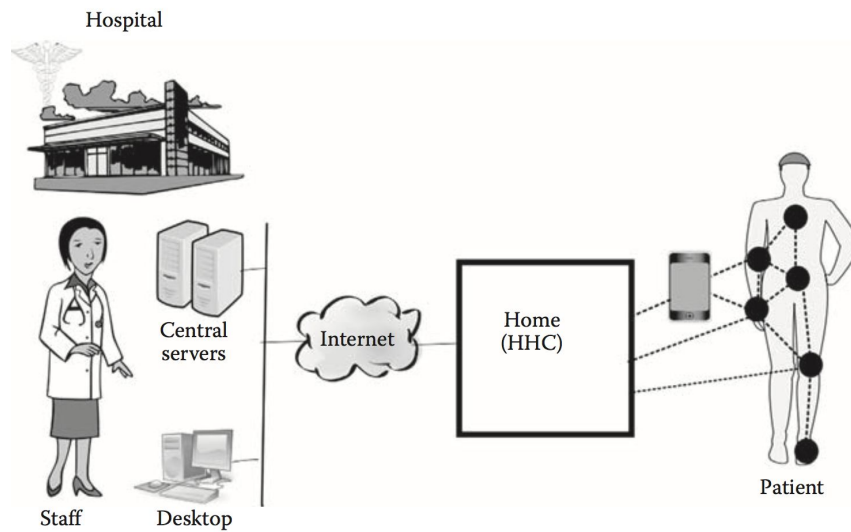
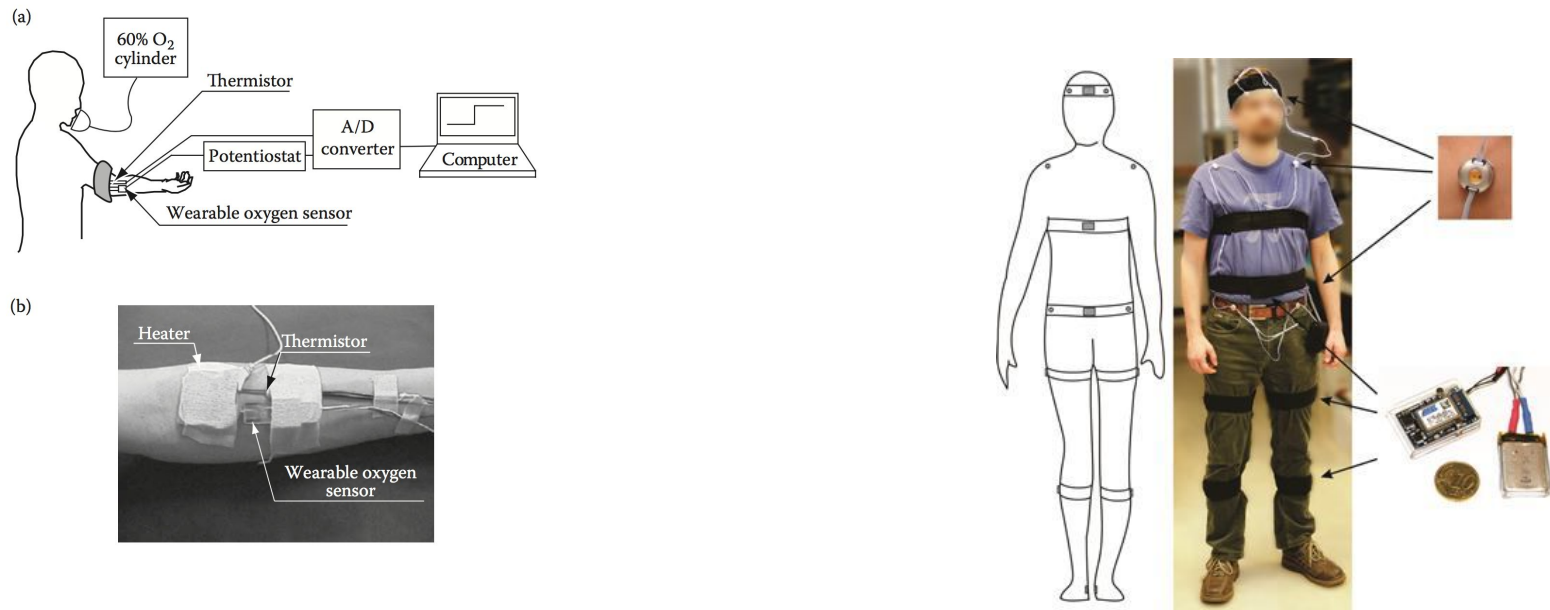
# Important milestones in the development of medical instruments...

- **Thermometer**
  - 1603, Galileo
  - 1625, body temperature measurement
- **Optical lens**
  - 1666, Newton
  - 1850-, ophthalmoscope, Helmholtz
- **Stethoscope**
  - 1819, hollow tube
  - 1851, binaural stethoscope
- **Hypodermic syringe**
  - 1853, Wood
- **X-ray**
  - 1895, Roentgen
  - 1896, in diagnosis and therapy
- **Radioactivity**
  - 1896, Curie
  - 1903, in therapy
- **Electrocardiograph**
  - 1887, Waller, capillary meter
  - 1903, Einthoven,
  - galvanometer 1928, vacuum tube
- **Electroencephalograph**
  - 1924, Berger
- **pH electrode**
  - 1906, Cremer
- **Electrical surgical unit, 1928**

- **Cyclotron, artificial radionuclides**
  - 1936, Lawrence
- **Assisting ventilator**
  - 1928, "iron lung"
  - 1945, positive pressure
- **Ultrasonic imaging**
  - pulse-echo, 1947
  - Doppler, 1950s
- **Magnetic Resonance Imaging (MRI)**
  - NRM, Bloch, Purcell, 1946
  - MRI, 1982
- **Computed tomography**
  - 1969, Cormack, Hounsfield
- **Electrical heart defibrillator**
  - 1956, Zoll
  - 1980, implanted
- **Implanted electrical heart pacemaker**
  - 1960, Greatbatch
- **Heart valves, 1975**
- **Cardiac catheter, 1975**
- **Artificial kidney (dialysis), 1960**
- **Artificial heart, 1984**

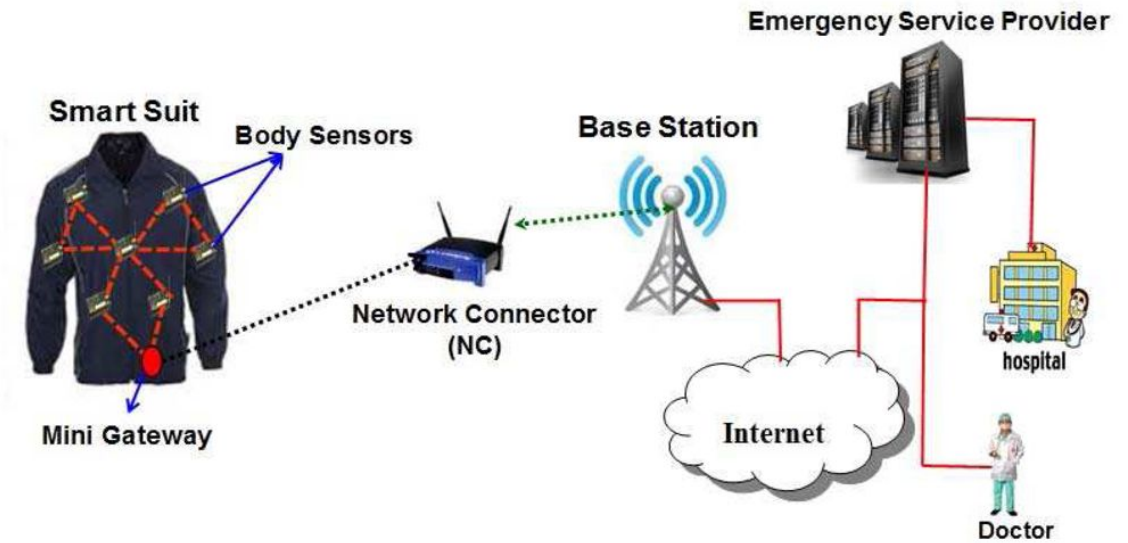
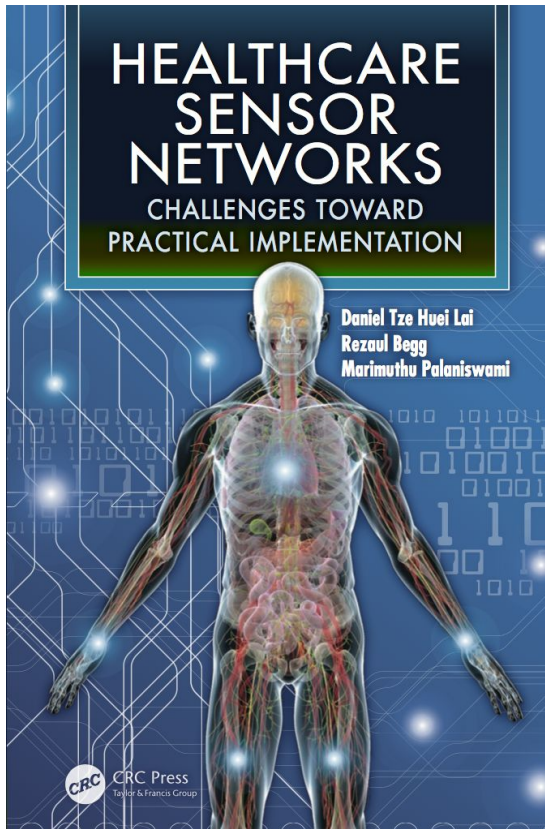


**Fig. 1.11** Laennec, inventor of the stethoscope, applies his ear to the chest of a patient ([Chartran 1849–1907](#))



**FIGURE 5.2**  
Architecture and service platform of a body sensor network (BSN) for telemedicine and home healthcare.





# ¿Qué es un sensor biomédico?

- Cualquier sistema de instrumentación puede ser descrito por tres componentes:
  - un sensor
  - un procesador de señal
  - y una pantalla y/o almacenamiento.



- El sensor tiene una función especial – interactúa con el sistema que se está midiendo.
- En el caso de la instrumentación biomédica, un sensor biomédico es la interfaz entre componentes electrónicos y el sistema biológico.

# Consideraciones importantes

1. El sensor puede afectar el comportamiento del sistema medido,
  - los sensores son diseñados para minimizar su interacción con el organismo.
  - Es importante que la presencia del sensor no afecte a la variable que se está midiendo.
2. El sistema biológico puede afectar al rendimiento del sensor.
  - Reacción a cuerpo extraño podría causar en el sistema huésped la necesidad de eliminarlo. Sistema huésped puede degradar el sensor, afectando su funcionamiento.

# Restricciones en las mediciones biomédicas

J Ultrasound Med. 2008 Apr;27(4):541-59; quiz 560-3.

## **Fetal thermal effects of diagnostic ultrasound.**

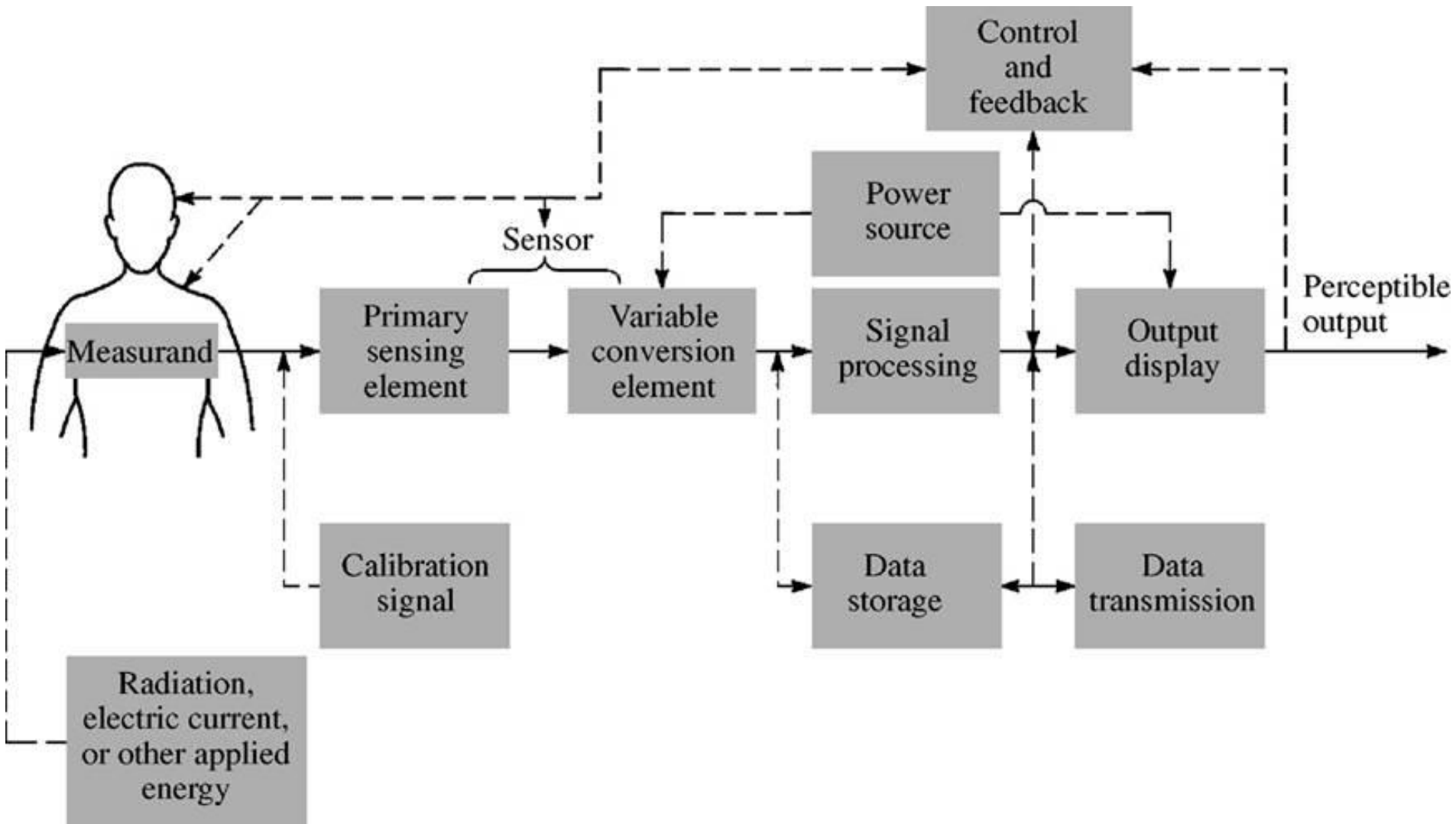
Abramowicz JS<sup>1</sup>, Barnett SB, Duck FA, Edmonds PD, Hynynen KH, Ziskin MC.

### **Author information**

### **Abstract**

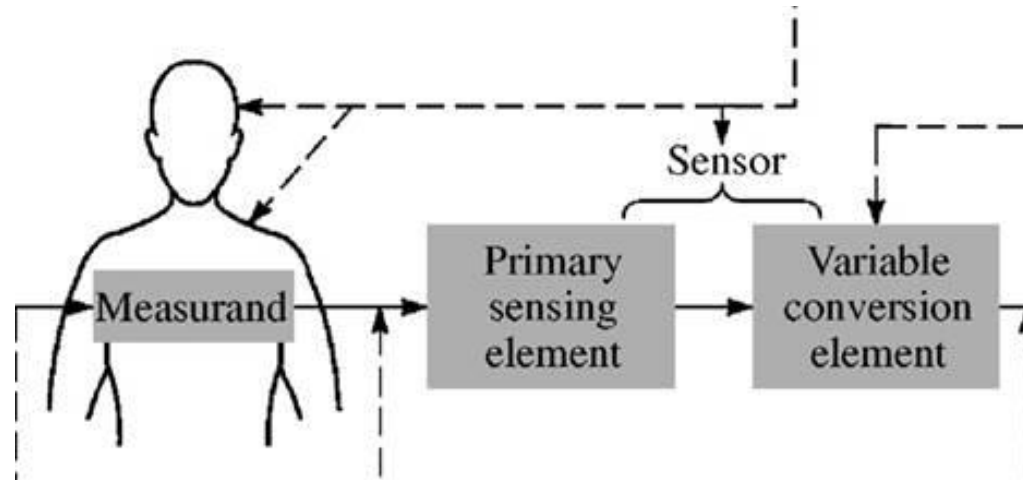
Processes that can produce a biological effect with some degree of heating (ie, about 1 degrees C above the physiologic temperature) act via a thermal mechanism. Investigations with laboratory animals have documented that pulsed ultrasound can produce elevations of temperature and damage in biological tissues in vivo, particularly in the presence of bone (intracranial temperature elevation). Acoustic outputs used to induce these adverse bioeffects are within the diagnostic range, although exposure times are usually considerably longer than in clinical practice. Conditions present in early pregnancy, such as lack of perfusion, may favor bioeffects. Thermally induced teratogenesis has been shown in many animal studies, as well as several controlled human studies; however, human studies have not shown a causal relationship between diagnostic ultrasound exposure during pregnancy and adverse biological effects to the fetus. All human epidemiologic studies, however, were conducted with commercially available devices predating 1992, that is, with acoustic outputs not exceeding a spatial-peak temporal-average intensity of 94 mW/cm<sup>2</sup>. Current limits in the United States allow a spatial-peak temporal-average intensity of 720 mW/cm<sup>2</sup> for fetal applications. The synergistic effect of a raised body temperature (febrile status) and ultrasound insonation has not been examined in depth. Available evidence, experimental or epidemiologic, is insufficient to conclude that there is a causal relationship between obstetric diagnostic ultrasound exposure and obvious adverse thermal effects to the fetus. However, very subtle effects cannot be ruled out and indicate a need for further research, although research in humans may be extremely difficult to realize.

# Instrumento de medición biomédica



# Mensurando

La cantidad física, propiedad o condición que el sistema mide.



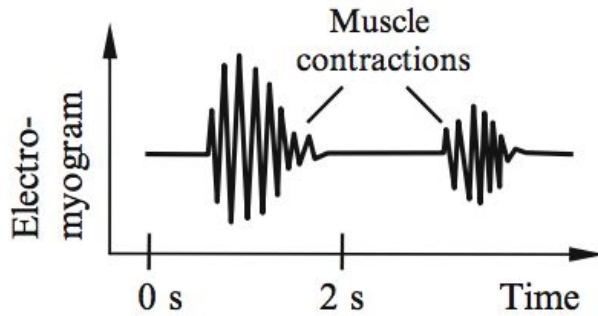
- Interna (presión sanguínea).
- Superficie del cuerpo (electrocardiograma).
- Emanado desde el cuerpo (radiación infrarroja).
- Derivado desde un parte del cuerpo que es removida (sangre o biopsia).

Categorías de mensurandos:

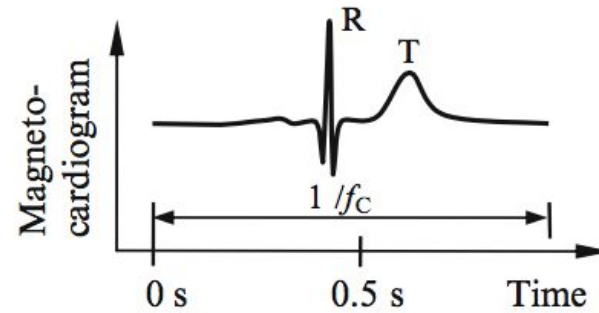
biopotenciales, presión, flujo, dimensiones (imágenes), desplazamiento (velocidad, aceleración, fuerza), impedancia, temperatura, concentración química.

## Origin

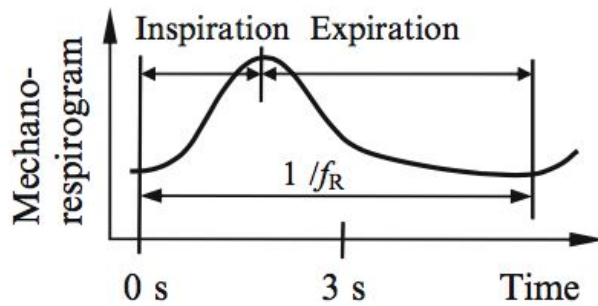
Electric



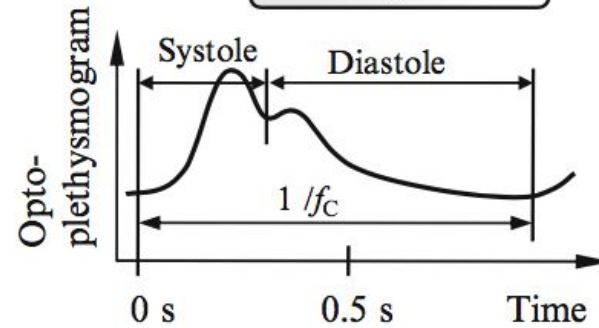
Magnetic



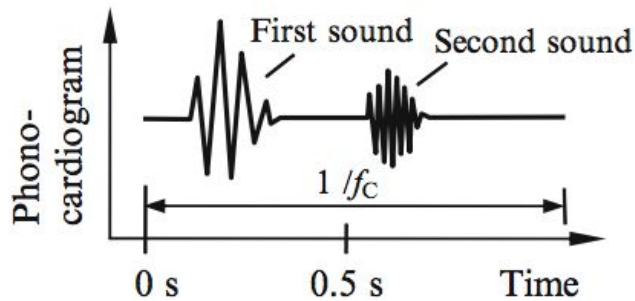
Mechanic



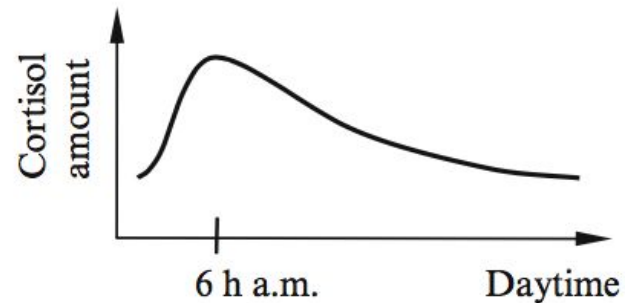
Optic



Acoustic



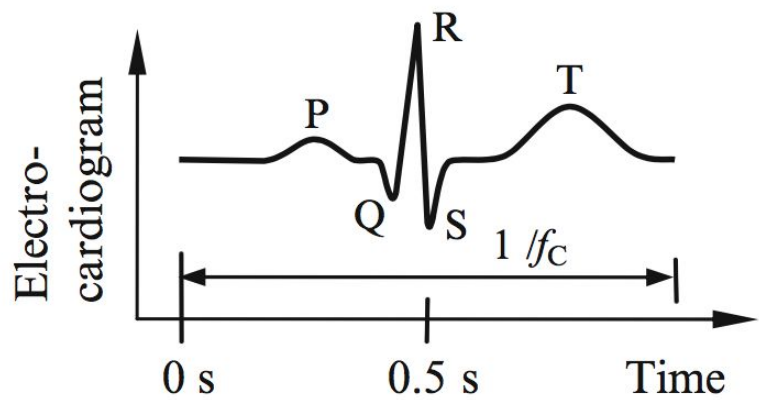
Chemical



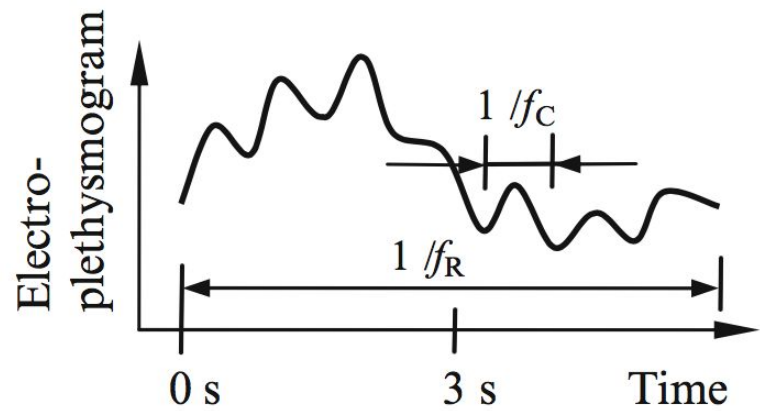


Existence

Permanent

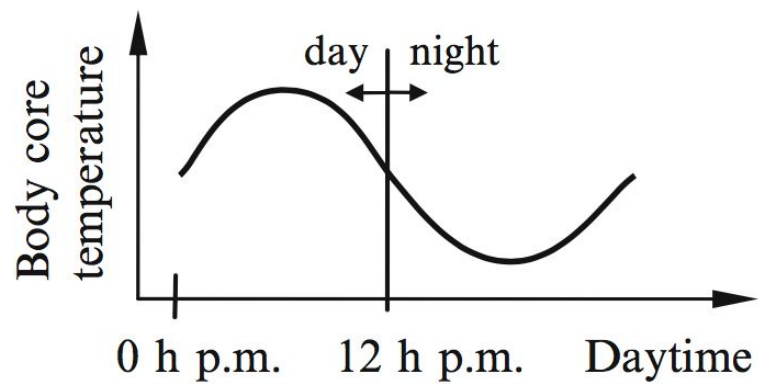


Induced

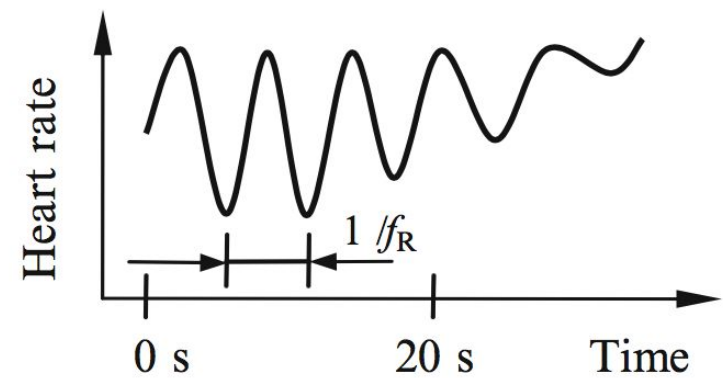


**Dynamic**

(Quasi) static

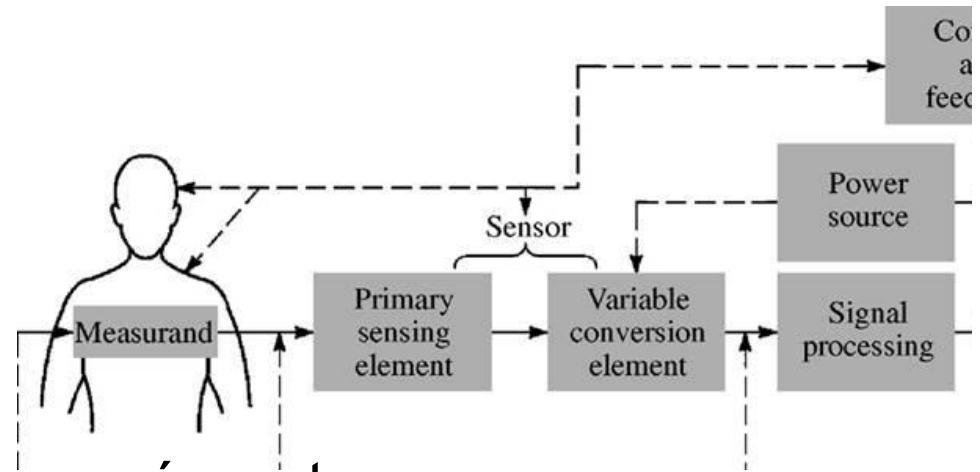


**Dynamic**



# Sensores y transductores

Generalmente, el término transductor se refiere a un dispositivo que convierte una forma de energía a otra.



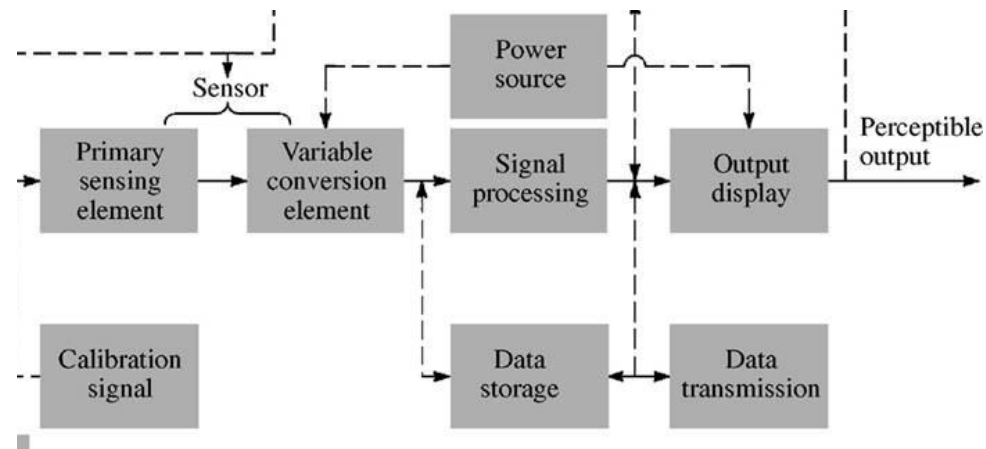
Un sensor convierte un mensurando físico a una señal eléctrica.

Un sensor posee un elemento de sensado primario, por ejemplo, un diafragma que convierte presión a desplazamiento. Un elemento secundario convierte este desplazamiento a un voltaje eléctrico (galgas extensiométricas).

Conceptos importantes: invasividad, intrusividad, sensibilidad.

# Acondicionamiento de señal

El acoplamiento de la salida de un sensor a un dispositivo de visualización (display) requiere un acondicionamiento previo de la señal.



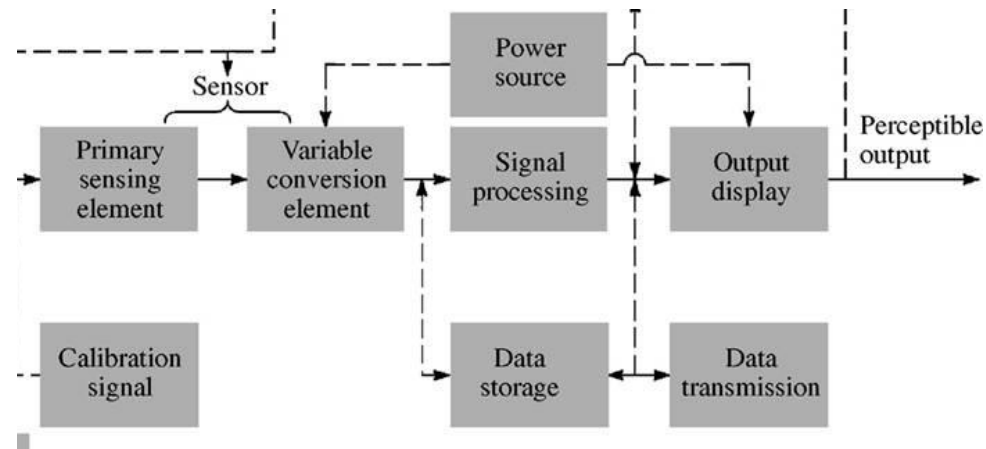
Filtros analógicos.

Conversores análogo-digitales.

Microcircuitos.

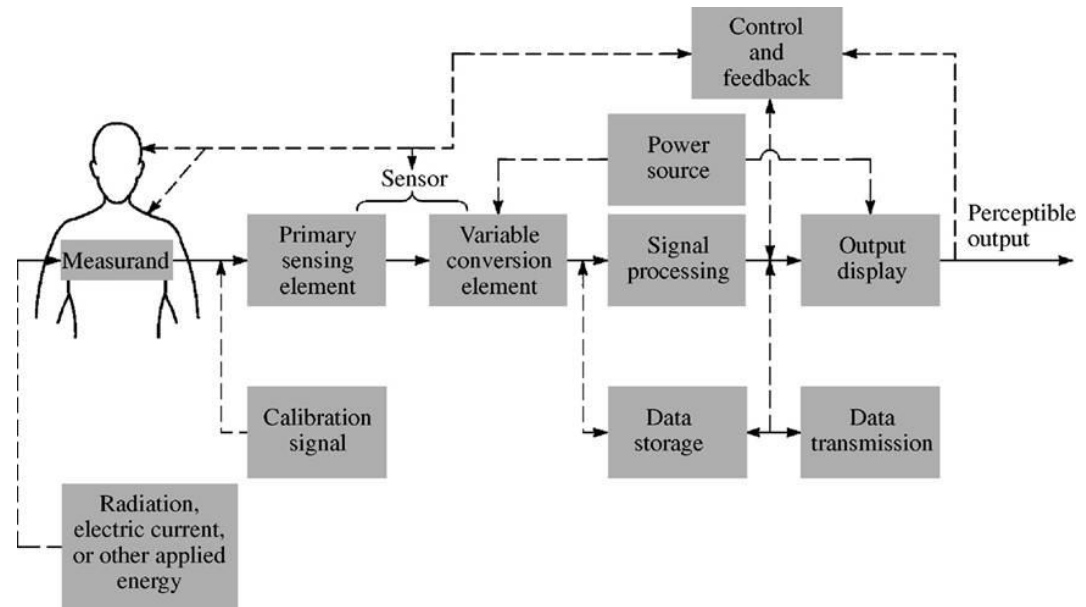
# Displays

Human factors engineering guidelines and preferred practices for the design of medical devices (AAMI, 1993).



# Elementos auxiliares

- Señal de calibración.
- Feedback and control.
- Almacenamiento de datos.
- Comunicación de datos.





# Modos operacionales

## Directo – indirecto

- El caso ideal es que el mensurando corresponda a la variable que interesa. Esta es accesible o existen métodos con invasividad aceptable que podemos usar. **Este es un modo directo de medición.**
- Si no es posible tener acceso a una variable de interés, a menudo se usa otro mensurando accesible, cuyo comportamiento dinámico está relacionado con la variable de interés. **Este es un modo indirecto de medición.**

# Modos operacionales

- Gasto cardíaco (volumen de sangre bombeado por el corazón en un minuto), determinado mediante la respiración y la concentración de gases en la sangre o mediante la dilución de colorantes.
- Morfología de órganos internos determinada mediante la proyección de rayos X en los mismos.
- Volúmenes pulmonares determinados mediante la medición de la impedancia de la cavidad torácica por pletismografía.

# Modos operacionales

## Modo continuo y muestreado

- Algunas cantidades cambian muy lentamente, por ejemplo, temperatura o concentración de iones.
- Otras como el eletrocardiograma o el flujo de aire por la respiración cambian rápidamente.
- El contenido de frecuencia de mensurando, el objetivo de la medición, la condición del paciente determinan cuan frecuente se adquiere una medición.

# Modos operacionales

Modo digital y analógico.

- Las señales que generan las mediciones son, en su mayoría, analógicas. Esto significa que son señales continuas y pueden tomar cualquier valor dentro de un rango dinámico.
- En el modo digital las señales son discretas y pueden tomar un número finito de valores.
- Modo digital: menor resolución, menor susceptibilidad a interferencias.

# Modos operacionales

Tiempo real y retrasado (delayed-time)

Tiempo real: señales eletrofisiológicas en general.

Delayed-time: procesos que requieren extracción de muestras, fMRI, etc.

# Restricciones en las mediciones biomédicas

- Muchos de los parámetros fisiológicos adoptan valores muy bajos, bajas frecuencias, etc.
- Muchas de las variables importantes no son accesibles directamente. La generación de la interface mensurando-sensor tiene como consecuencia algún daño al organismo vivo.
- Las señales fisiológicas son raramente deterministas. Variabilidad intersujeto e intrasujeto.
- Muchas mediciones biomédicas dependen de alguna forma de energía aplicada al organismo vivo, ultrasonido, rayos X, etc. En muchos casos no se conocen muchos de los mecanismos de daño de los tejidos ante la exposición de ciertos niveles de energía.
- Otras restricciones adicionales: confiabilidad, fácil de operar, resistente, minimizar los riesgos de shocks eléctricos.



## Algunos parámetros fisiológicos

**Table 1.1** Medical and Physiological Parameters

Parameter or Measuring Technique	Principal Measurement Range of Parameter	Signal Frequency Range, Hz	Standard Sensor or Method
Ballistocardiography (BCG)	0–7 mg	dc–40	Accelerometer, strain gage
	0–100 $\mu\text{m}$	dc–40	Displacement linear variable differential transformer (LVDT)
Bladder pressure	1–100 cm H <sub>2</sub> O	dc–10	Strain-gage manometer
Blood flow	1–300 ml/s	dc–20	Flowmeter (electromagnetic or ultrasonic)
Blood pressure, arterial			
Direct	10–400 mm Hg	dc–50	Strain-gage manometer
Indirect	25–400 mm Hg	dc–60	Cuff, auscultation
Blood pressure, venous	0–50 mm Hg	dc–50	Strain gage
Blood gases			
$P_{\text{O}_2}$	30–100 mm Hg	dc–2	Specific electrode, volumetric or manometric
$P_{\text{CO}_2}$	40–100 mm Hg	dc–2	Specific electrode, volumetric or manometric
$P_{\text{N}_2}$	1–3 mm Hg	dc–2	Specific electrode, volumetric or manometric
$P_{\text{CO}}$	0.1–0.4 mm Hg	dc–2	Specific electrode, volumetric or manometric

## Algunos parámetros fisiológicos

Blood pH	6.8–7.8 pH units	dc–2	Specific electrode
Cardiac output	4–25 liter/min	dc–20	Dye dilution, Fick
Electrocardiography (ECG)	0.5–4 mV	0.01–250	Skin electrodes
Electroencephalography (EEG)	5–300 $\mu$ V	dc–150	Scalp electrodes
(Electrocorticography and brain depth)	10–5000 $\mu$ V	dc–150	Brain-surface or depth electrodes
Electrogastrography (EGG)	10–1000 $\mu$ V	dc–1	Skin-surface electrodes
	0.5–80 mV	dc–1	Stomach-surface electrodes
Electromyography (EMG)	0.1–5 mV	dc–10,000	Needle electrodes
Eye potentials			
Electro-oculogram (EOG)	50–3500 $\mu$ V	dc–50	Contact electrodes
Electroretinogram (ERG)	0–900 $\mu$ V	dc–50	Contact electrodes
Galvanic skin response (GSR)	1–500 k $\Omega$	0.01–1	Skin electrodes
Gastric pH	3–13 pH units	dc–1	pH electrode; antimony electrode

**Table 1.1 (Continued)**

<b>Parameter or Measuring Technique</b>	<b>Principal Measurement Range of Parameter</b>	<b>Signal Frequency Range, Hz</b>	<b>Standard Sensor or Method</b>
Gastrointestinal pressure	0–100 cm H <sub>2</sub> O	dc–10	Strain-gage manometer
Gastrointestinal forces	1–50 g	dc–1	Displacement system, LVDT
Nerve potentials	0.01–3 mV	dc–10,000	Surface or needle electrodes
Phonocardiography	Dynamic range 80 dB, threshold about 100 $\mu$ Pa	5–2000	Microphone
Plethysmography (volume change)	Varies with organ measured	dc–30	Displacement chamber or impedance change
Circulatory	0–30 ml	dc–30	Displacement chamber or impedance change
Respiratory functions	0–600 liter/min	dc–40	Pneumotachograph
Pneumotachography (flow rate)			head and differential pressure
Respiratory rate	2–50 breaths/min	0.1–10	Strain gage on chest, impedance, nasal thermistor
Tidal volume	50–1000 ml/breath	0.1–10	Above methods
Temperature of body	32–40 °C 90–104 °F	dc–0.1	Thermistor, thermocouple

SOURCE: Revised from *Medical Engineering*. C. D. Ray (ed.). Copyright © 1974 by Year Book Medical Publishers, Inc., Chicago. Used by permission.

# Clasificación de dispositivos de instrumentación biomédica.

Cuatro puntos de vista.

De acuerdo a la cantidad que es medida:

Presión, flujo o temperatura.

De acuerdo al principio de transducción:

Resistivo, inductivo, capacitivo, ultrasónico o electroquímico.

De acuerdo al órgano o sistema donde se encuentra el mensurando:

Sistema cardiovascular, pulmonar, nervioso, endocrino, etc.

De acuerdo a disciplinas médicas:

Pediatría, obstetricia, cardiología, etc.

De acuerdo al daño que producen:

**Sensores no invasivos:** permiten medir la variable de interés sin contacto o con contacto superficial.

E.g. sensores de calor, ultrasonido, electrodos de biopotenciales, medidores de deformación colocados en la piel.

**Sensores mínimamente invasivos:** se colocan en una cavidad corporal natural que comunica con el exterior.

E.g. termómetros oral-rectales, transductores de presión intrauterina y sensores de pH del estómago.

**Sensores invasivos:** son aquellos que necesitan ser colocados quirúrgicamente. Su instalación requiere algún daño tisular.



De acuerdo a las cantidades que miden:

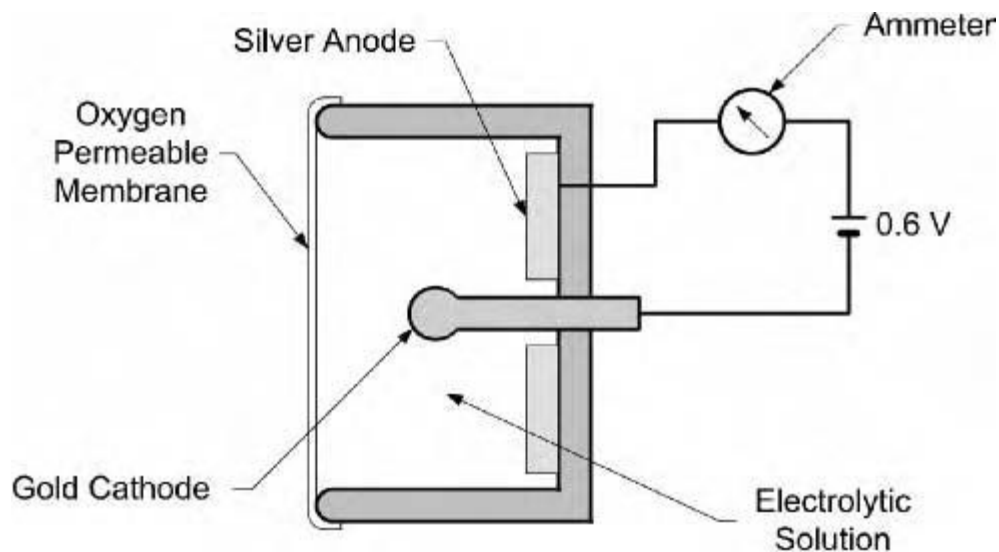
**Sensores físicos:** se utilizan en la medición de cantidades físicas tal como el desplazamiento, presión y flujo.

**Sensores químicos:** se utilizan para determinar la concentración de sustancias químicas dentro del huésped.

**Biosensores:** Se utilizan para medir algunas cantidades internas como enzimas.

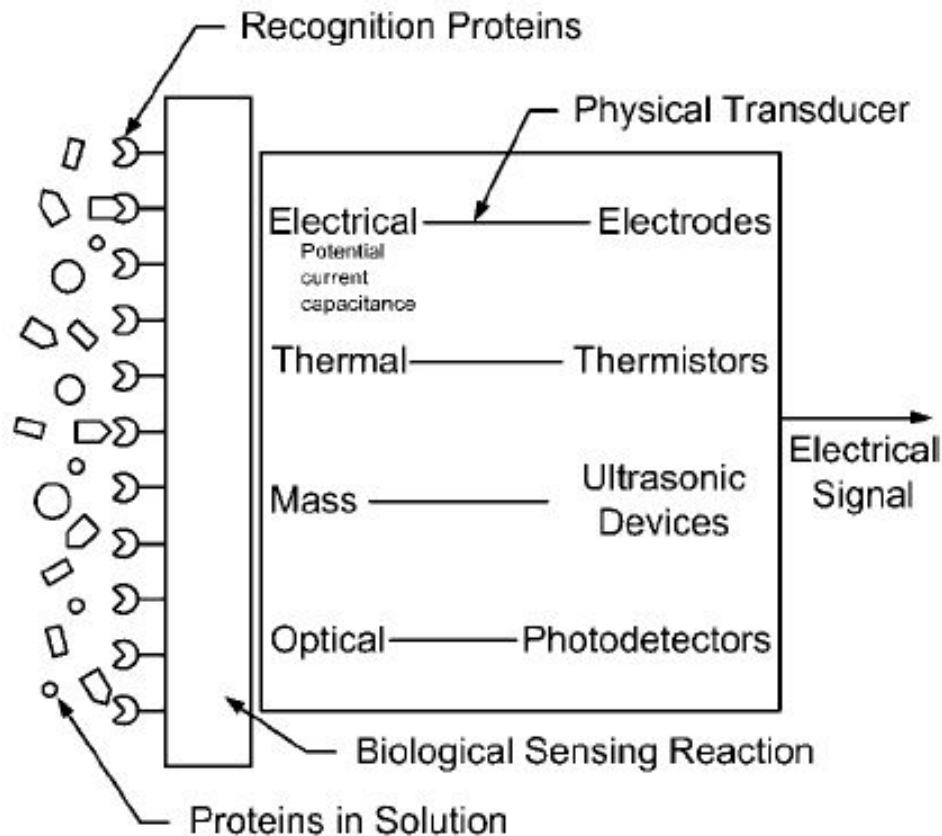
# Sensores químicos (bioanalíticos)

- Un electrodo amperométrico Clark para medir oxígeno.



# Biosensor

- Estructura básica



Aprovechan de una de las siguiente reacciones bioquímicas:

**(1) enzima-sustrato.**

**(2) antígeno-anticuerpo.**

**(3) ligando-receptor.**

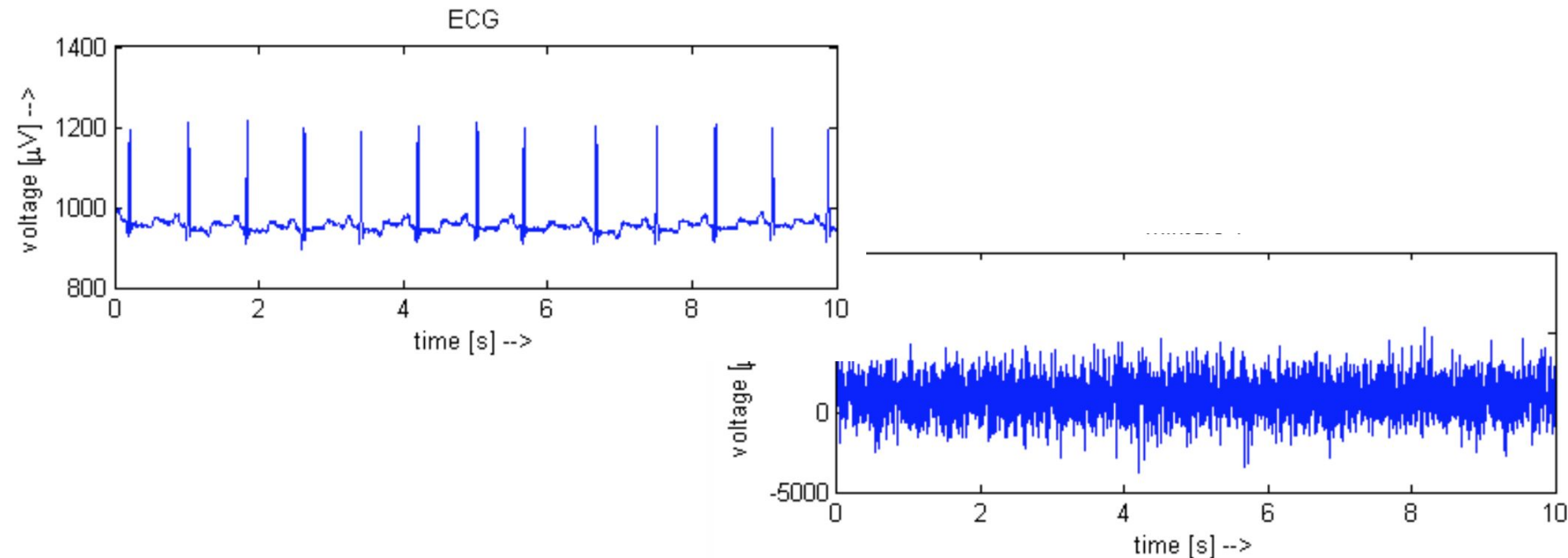
Altamente sensibles y selectivos.

Inestables.

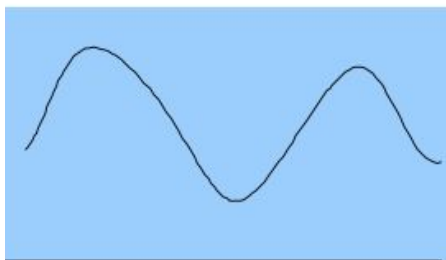
Interferencias y señales  
modificantes modificantes.

## Fuentes:

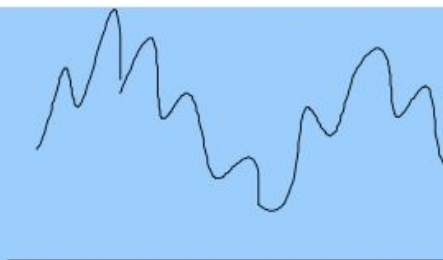
- Movimiento de electrodos pueden introducir voltajes no deseados (artefactos).
- Línea de alimentación puede inducir voltajes indeseados (interferencia).
- Efectos térmicos en dispositivos semiconductores puede causar adición de voltajes aleatorios (ruido).
- Variaciones de temperatura en componentes electrónicos puede adicionar deriva (drift).



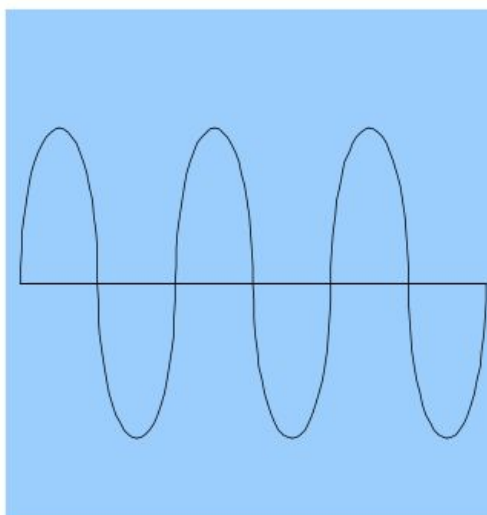
original



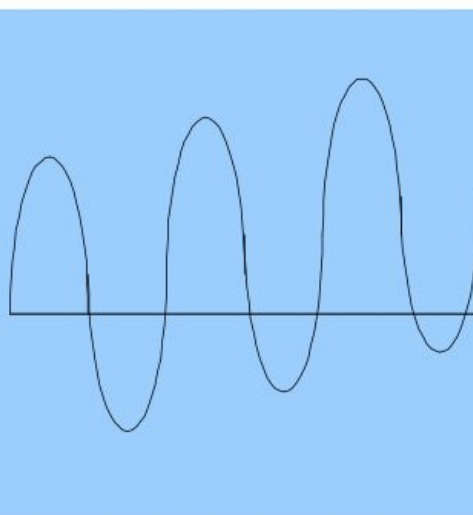
original + interferencia



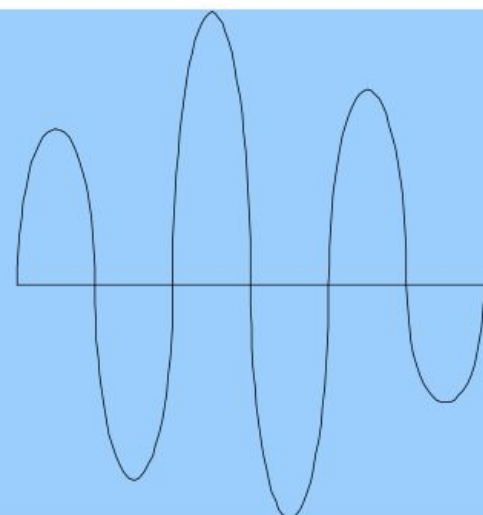
original

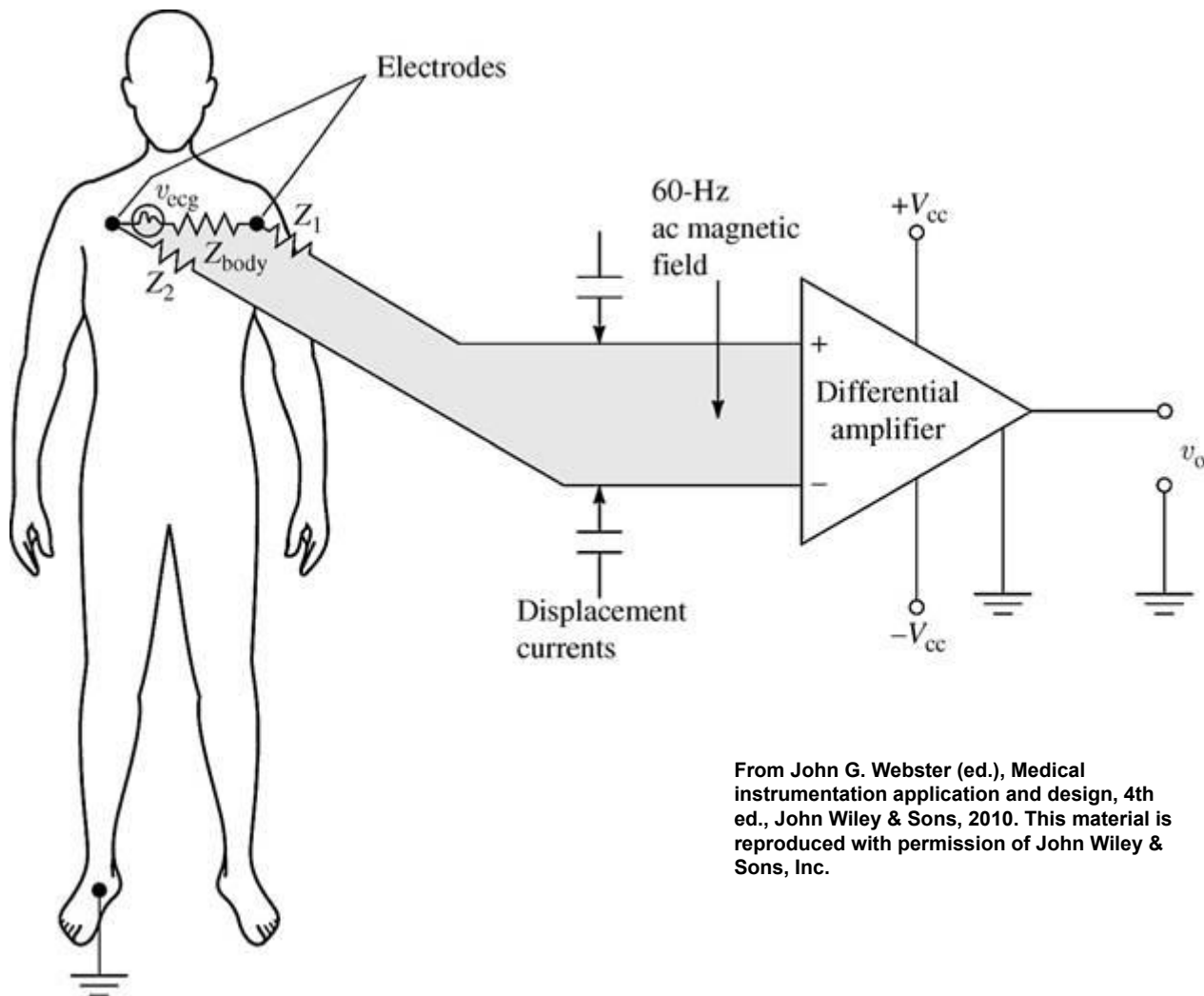


original + drift



original + entrada  
modificante





From John G. Webster (ed.), Medical instrumentation application and design, 4th ed., John Wiley & Sons, 2010. This material is reproduced with permission of John Wiley & Sons, Inc.

**Figure 1.2** simplified electrocardiographic recording system Two possible interfering inputs are stray magnetic fields and capacitively coupled noise. Orientation of patient cables and changes in electrode-skin impedance are two possible modifying inputs.  $Z_1$  and  $Z_2$  represent the electrode-skin interface impedances.

# Compensación

- Insensibilidad inherente o especificidad del sensor.
- Retroalimentación negativa.
- Filtrado.
- Interferencia destructiva (opposing inputs).