

# PROGRAMA DE DETECCIÓN DE RIESGO CARDIOVASCULAR MEDIANTE ANÁLISIS DE ONDA DE PULSO

Laboratorio de Bioingeniería  
UNMDP

- 1- Introducción
- 2- Objetivos
- 3- Métodos
- 4- Actividades: Estudios Clínicos Poblacionales, Proyectos Realizados, Estudios Especiales
- 5- Actividad Actual

## 1- Introducción

### 1.1- Antecedentes/

El **Laboratorio de Bioingeniería (LABI)** de la **Facultad de Ingeniería** y el **Servicio Universitario de Salud (SUS)** de la **Universidad Nacional de Mar del Plata** han desarrollado desde 2004 un programa de prevención del riesgo cardiovascular basado en la evaluación de la rigidez arterial mediante el análisis de onda de pulso de la arteria radial. El mismo se realiza mediante un convenio de cooperación entre ambas dependencias universitarias.

La rigidez de las paredes arteriales aumenta naturalmente con la edad y es acelerada por el desarrollo de las principales enfermedades cardiometabólicas, como la hipertensión, la dislipemia y la diabetes.

El análisis de la onda de pulso permite evaluar la rigidez de la arteria aorta y de las pequeñas arterias distales, en base al cálculo de indicadores que se comparan con los valores correspondientes a la edad y sexo del individuo. Para ello se dispone de valores de referencia obtenidos a partir de estudios realizados en el SUS sobre voluntarios sanos de ambos sexos y edades diversas, integrantes principalmente de la comunidad universitaria.

Desde el inicio de la actividad se han efectuado en forma gratuita más de 3000 estudios en individuos de ambos sexos y edades diversas provenientes de los sistemas de salud pública y privado. Estos estudios se han realizado respetando normas de bioética que incluyeron el consentimiento escrito, la protección de la identidad y la entrega de los resultados de manera personal.

Todas estas actividades se realizaron como parte de sucesivos proyectos de investigación y extensión universitaria desarrollados en el LABI, con la participación de docentes y alumnos, y del personal del SUS.

Se contó desde 2006 con el apoyo y asesoramiento de la **Sociedad Argentina de Hipertensión Arterial (SAHA)**, a la cual nos hemos incorporado desde entonces y participamos en sus congresos anuales, publicando nuestros trabajos sobre investigación clínica. Actualmente trabajamos en conjunto con uno de sus directivos, investigador en hipertensión del Hospital Italiano de Buenos Aires.

Integramos también desde 1983 la **Sociedad Argentina de Bioingeniería (SABI)**, en cuyos congresos presentamos los desarrollos de hardware y software que permitieron realizar las mencionadas actividades de investigación.

A partir de 2017, el LABI colabora con la salud pública municipal mediante un convenio de Cooperación entre la FI y la Secretaria de Salud de Gral. Pueyrredón. En virtud del mismo, se integró en carácter ad-honorem a un investigador a la Unidad Cardiometabólica del **Centro de Estudios Médicos Ambulatorios (CEMA)** para efectuar estudios de rigidez arterial en pacientes de dicha institución. Actualmente las actividades se hallan centradas en el CEMA.

Los temas desarrollados en investigación clínica se plasmaron en publicaciones en revistas médicas nacionales e internacionales, y presentaciones a congresos médicos.

El Proyecto cuenta con la aprobación del Comité de Ética de la Investigación de la UNMDP, y se halla registrado en el Ministerio de Salud de la Pcia. de Buenos Aires.

## 1.2- Análisis de la Onda de Pulso

La onda de pulso radial (OP), consiste en el registro de las variaciones de presión de la arteria radial durante el ciclo cardíaco. El análisis de la OP constituye una herramienta para el estudio de la rigidez arterial, útil para el diagnóstico, pronóstico y seguimiento de enfermedades que afectan a las arterias<sup>4</sup>. Su práctica ya se halla difundida en la salud privada, pero aún no se dispone de la misma en la salud pública local.

Existen dos métodos para obtener la OP: El Oscilométrico y el Tonométrico. El método oscilométrico utiliza el brazalete habitual para medir la presión arterial en el brazo, registrándose las variaciones de presión en la arteria humeral. La tonometría de aplanamiento se implementa apoyando un sensor sobre la zona de palpación del radial, en la muñeca, registrándose las variaciones de presión en la arteria radial. Hemos optado por este último método debido a que es más práctico pues se aplica directamente con el paciente sentado y exponiendo su muñeca, y requiere un sensor de bajo costo. Tanto el equipamiento como el software de procesamiento fueron desarrollados en la FI.

En ambos métodos la señal obtenida es digitalizada y enviada a una computadora, donde se la grafica en forma normalizada en amplitud, correspondiendo el 0% a la presión diastólica y el 100% a la sistólica, tal como se expone en la figura 1.

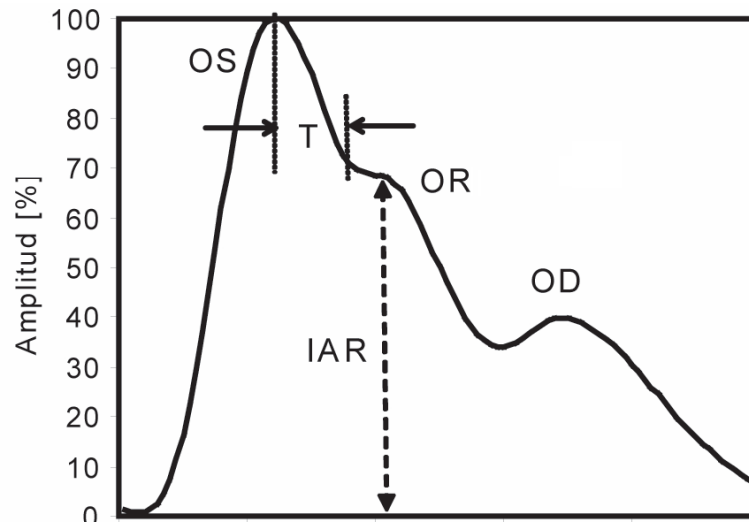


Figura 1.- Registro de onda de pulso, normalizada en amplitud. Se observan la onda sistólica directa OS, la onda diastólica (OD) y la onda reflejada desde las terminales aórticas (OR). Se indican también el retardo de arribo (T) de la OR, el índice de aumentación (IAR), y la amplitud de la oscilación diastólica (AD), utilizados para evaluar la rigidez arterial.

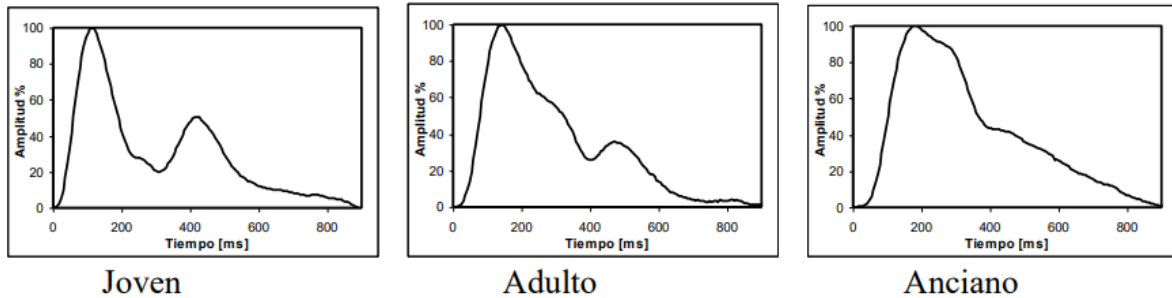
La OP está compuesta por una onda sistólica OS que se produce durante la contracción del ventrículo izquierdo, y otra diastólica OD que corresponde a su relajación. Ambas se hallan separadas por la incisura dicrótica, que indica el cierre de la válvula aórtica y el fin de la contracción cardíaca.

La OS es generada por la contracción cardíaca directa, que envía una onda de presión que viaja a través de las arterias del hombro y brazo, hasta el sitio de registro. En la pendiente de descenso de la OS se observa una onda reflejada OR, originada en la reflexión de la OS en las terminales aórticas que regresa hacia arriba y se introduce en la arteria radial. El retardo de arribo (T) de la OR se utiliza para calcular la velocidad de propagación aórtica ( $V_{aor}$ ), un importante indicador de riesgo cardiovascular que aumenta con la edad. La altura de la onda reflejada se conoce como Índice de Aumentación Radial, y también aumenta con la edad. En base a un procedimiento matemático, midiendo las presiones máxima y mínima en el brazo mediante un tensiómetro común, puede calcularse en forma aproximada la presión máxima en la salida de la válvula aórtica, llamada Presión Aórtica ( $P_{aor}$ ) o Presión Central. La  $P_{aor}$  es más

importante que la presión medida en el brazo, debido a que es la que debe vencer el corazón para lograr eyectar el volumen de sangre durante la sístole.

Cerrada la válvula aórtica, se genera una oscilación en base a la energía acumulada en el sistema arterial durante la contracción del ventrículo, desarrollando en las pequeñas arterias y arteriolas distales un aumento de presión que depende de la elasticidad de dichas arterias. La amplitud inicial de dicha oscilación (AD) es un indicador de su distensibilidad, y disminuye al envejecer.

El envejecimiento natural produce cambios muy significativos en la onda de pulso. Ellos permiten estimar el grado de envejecimiento arterial en base al valor de los indicadores arteriales mencionados (IAR, Vaor, Paor, AD). En la figura siguiente se ilustra la evolución de la onda de pulso con el envejecimiento.



**Figura 2 .- Evolución de la Onda de Pulso con la Edad.** Al envejecer disminuye la amplitud de la OD y aumenta la amplitud de la onda reflejada. También aumenta la velocidad de propagación y disminuye el tiempo  $T$

## 2- Objetivos del Programa

El objetivo general consistió en brindar a la comunidad marplatense la posibilidad de evaluar el estado de su sistema arterial para prevenir y controlar el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, lo cual tiende a conservar buena calidad de vida a edad avanzada

Para la prevención de riesgo cardiovascular se propuso:

a) Detectar en personas normotensas asintomáticas alteraciones en la onda de pulso arterial que pudieran indicar el desarrollo temprano de una enfermedad cardiovascular, mediante el registro de variación de diámetro arterial. Dicha actividad se cumplió realizando campañas de prevención en la comunidad universitaria y en la población local.

Como cumplimiento de parte de los objetivos de la Extensión Universitaria, se alertó e instruyó a los individuos hallados bajo riesgo para que modifiquen sus hábitos de vida.

b) Evaluar el deterioro arterial en pacientes de enfermedades que afectan al sistema circulatorio, para adecuar el tratamiento a cada caso en particular. Esta actividad se realizó mediante estudios realizados en forma gratuita a pacientes provenientes del sistema de salud pública o privada derivados por su médico de cabecera.

## 3- Métodos

El estudio consiste en un interrogatorio sobre antecedentes y datos antropométricos, la toma de presión arterial en forma convencional, y el registro de la onda de pulso radial logrado aplicando un sensor en la zona de palpación de la muñeca.

Los datos se almacenan en una PC, donde posteriormente se procesan y analizan, calculándose los indicadores arteriales y comparándolos con valores de referencia para individuos sanos.

Los resultados del estado arterial se vuelcan a un informe que se entrega en forma personal al interesado, o a su médico personal, si es quien ha solicitado el estudio, respetando normas de Bioética.

## **4- Actividades**

### **4.1- Estudios Poblacionales Realizados**

Hasta 2015 se realizaron 2062 estudios (861 M y 1201 V) en dependencias del SUS sobre integrantes de la comunidad universitaria y sobre pacientes derivados de salud privada o pública.

A partir de 2016 a la fecha se realizaron 1420 estudios individuales (844 M y 576 V) en dependencias del CEMA sobre sus pacientes y concurrentes.

El total de la actividad suma 3482 estudios individuales (1705 mujeres y 1777 varones) de individuos de edades diversas.

Los estudios realizados en individuos sanos permiten determinar el estado de sus arterias y establecer si el estilo de vida que han llevado ha sido apropiado.

En los estadios iniciales de las enfermedades cardiovasculares, que suelen ser asintomáticas, el estudio arterial posibilita detectarlas en forma temprana y efectuar las correcciones adecuadas, lo cual puede retardar o detener su progresión.

Por otra parte, los estudios realizados en pacientes cardiometabólicos permiten estimar el grado de avance de la enfermedad e incluso controlar su evolución a lo largo del tiempo.

### **4.2- Proyectos de Investigación y Extensión**

En base al análisis de los estudios realizados, se desarrollaron técnicas de diagnóstico basadas en el análisis de onda de pulso, plasmadas en 6 proyectos de investigación bianuales llevados a cabo entre 2004 y 2016. Estos proyectos fueron aprobados por la Secretaría de Investigación de la UNMDP y evaluados por los organismos competentes del Ministerio de Cultura y Educación de la Nación.

Asimismo, paralelamente se llevaron a cabo 7 proyectos de Extensión supervisados por las autoridades universitarias, enfocados en la evaluación de riesgo cardiovascular en la comunidad marplatense. Estos proyectos brindaron a la misma la oportunidad de acceder a este tipo de estudios, los cuales hasta hace poco solo estaban disponibles en el sistema de salud privado local

### **4.3- Producción Científica**

Como resultado de las actividades de investigación, se efectuaron un total de 14 publicaciones en revistas médicas nacionales e internacionales, así como 29 presentaciones en congresos médicos, abordando las aplicaciones clínicas de las técnicas desarrolladas. La lista completa de estas publicaciones y presentaciones se adjunta en un anexo.

Adicionalmente, se efectuaron otras 15 publicaciones en revistas especializadas y 16 presentaciones en congresos de bioingeniería, enfocadas en técnicas de procesamiento o desarrollo de instrumentación.

Estos trabajos contribuyeron al avance de la disciplina y al intercambio de conocimientos en el campo de la investigación clínica y la bioingeniería.

### **4.4- Estudios Especiales**

Como parte de las actividades de investigación o de extensión se realizaron diversos estudios en instituciones públicas o privadas, los cuales se detallan a continuación.

#### **-Evaluación Arterial de Pacientes Dislipémicos**

Se estudió la alteración en la distensibilidad de las paredes arteriales producidas por la dislipemia dependiente de colesterol LDL, en pacientes sin otros factores de riesgo. El trabajo se realizó en conjunto con investigadores del Distrito Sudeste de SAHA. Los resultados se publicaron en el XVII congreso de SAHA (Buenos Aires 2010), en el 81º congreso de la soc. Europea de Aterosclerosis (Lyon, 2013) y en una revista internacional (2014).

#### **-Evaluación Arterial en Trabajadores de la Salud**

Se llevó a cabo en colaboración con docentes de la Facultad de Ciencias Médicas de la UFASTA en 2011. En el estudio se evaluaron trabajadores de la salud de ámbitos públicos y privados, quienes estaban expuestos a diversas cargas laborales y condiciones de estrés que pueden afectar la rigidez arterial. Los resultados se presentaron en el ateneo realizado en la UFASTA en diciembre de 2011 y fueron publicados en el XIX Congreso de SAHA (Buenos Aires, 2012).

### **-Estudio ERICA II**

Su denominación oficial fue "Estudio de Riesgo Cardiovascular en Ayacucho". Fue organizado por la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad FASTA entre 2014 y 2015 con el objetivo de evaluar el riesgo cardiovascular en la población de Ayacucho, Provincia de Buenos Aires. Participamos en el estudio realizando estudios de rigidez arterial en una muestra de la población. Se presentó un informe a UFASTA y los resultados fueron publicados en el XXIII Congreso de SAHA (Buenos Aires, 2016).

### **-Estudio de valores de referencia para indicadores de rigidez arterial en la población marplatense.**

Se llevó a cabo en las instalaciones del Servicio Universitario de Salud durante un período prolongado de tiempo, con la asistencia y colaboración de su personal. El objetivo principal fue establecer los valores de referencia normales, para los indicadores obtenidos de los análisis de onda de pulso correspondientes a cada sexo. Estos valores se utilizan para determinar, mediante comparación, si un individuo en particular se encuentra dentro de los rangos normales. Como resultado, se obtuvo una base de datos de referencia que se utilizó como patrón de normalidad para la población local, teniendo en cuenta sus características particulares. Los resultados de este estudio fueron publicados en el XXVI Congreso de SAHA (Mar del Plata, 2019).

### **-Evaluación cardiovascular de atletas mediante análisis del pulso radial**

Se realizó un estudio cardiovascular en jóvenes atletas de alto rendimiento pertenecientes al Ente Municipal de Deportes y Recreación (EMDER) de la Municipalidad de Gral. Pueyrredón (MGP). El entrenamiento aeróbico tiene un impacto significativo en el sistema arterial, y el análisis de onda de pulso se reveló como un método sencillo para evaluar el grado de adaptación vascular provocado por el entrenamiento intenso.

Los resultados se presentaron a la Secretaría de Salud de la MGP, se expusieron en el XXVI Congreso de SAHA (Mar del Plata, 2019), y se publicaron en forma internacional.

### **-Evaluación cardiovascular de deportistas aeróbicos**

En el año 2018 se llevó a cabo un estudio en atletas de alto rendimiento de edad adulta, específicamente competidores en natación y triatlón, quienes entrenan en el establecimiento particular Honu Beach, de la ciudad de Mar del Plata. Los resultados obtenidos en este estudio permitieron completar la base de datos disponible sobre deportistas aeróbicos en todas las franjas etarias. Esta base de datos fue utilizada posteriormente para evaluar a otros tipos de deportistas.

### **-Efectos de la pandemia COVID en la salud cardiovascular marplatense**

Se compararon los resultados de los indicadores de rigidez arterial de la campaña de prevención de HTA 2021 con campañas anteriores, con el fin de evaluar las posibles consecuencias de la pandemia de COVID-19 en la población de Mar del Plata. Se planteó la hipótesis de que la enfermedad COVID-19 podría dejar como secuela un estado inflamatorio crónico en las paredes arteriales. La comparación de los indicadores de rigidez arterial permitió analizar si existía algún cambio significativo en la salud cardiovascular de la población local en relación con campañas previas, como resultado de la pandemia. Los resultados se presentaron en el XXVIII Congreso de SAHA (Rosario, 2022).

### **-Evaluación de la Microcirculación**

La propuesta consistió en desarrollar y validar un indicador específico sencillo derivado del análisis de onda de pulso para evaluar la rigidez de las pequeñas arterias terminales, las cuales se ven afectadas tempranamente por el envejecimiento y las enfermedades cardiometabólicas.

Los resultados se presentaron en el XXVIII Congreso de SAHA (Rosario, 2022), y se publicaron en una revista internacional en 2023.

### **-Evaluación de gimnastas mediante análisis de onda de pulso radial**

Se llevó a cabo un estudio exploratorio con el objetivo de buscar evidencias de rigidez arterial en practicantes de entrenamiento de fuerza moderado utilizando aparatos en un gimnasio particular (Fusión, Mar del Plata). Reportes previos habían indicado que el mismo puede aumentar la rigidez arterial cuando es realizado de manera muy intensa. Sin embargo, los resultados de este estudio revelaron que el entrenamiento de fuerza moderado, combinado con actividad aeróbica, no tuvo ningún impacto significativo en la rigidez arterial de los participantes. Los resultados se expusieron en el XXIX Congreso de SAHA (Buenos Aires, 2023).

En estudios posteriores se desarrolló un indicador arterial de la cantidad de entrenamiento (SAHA 2025) y se estudiaron los efectos de la actividad física en la microcirculación distal (SAHA 2026).

### **5- Actividad Actual**

-Durante los meses de mayo y junio se participa de la campaña de prevención de hipertensión destinada a la población en general, organizada a nivel nacional por la Sociedad Argentina de Hipertensión Arterial.

-Paralelamente se efectúan estudios sobre gimnastas y deportistas a nivel amateur y federados, incluidos atletas de alto rendimiento en actividad y retirados. El análisis de onda de pulso permite establecer el grado de adaptación cardiovascular al entrenamiento, además de detectar evidencias de rigidez arterial por exceso del mismo.

-Las actividades se realizan actualmente en dependencias del CEMA y de la Facultad de Ingeniería de la UNMDP.