



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Evaluación del dolor inducido mediante estímulo mecánico controlado en individuos sanos, mediante escala análogo visual versus respuesta galvánica de la piel.**

**Emma Patricia Muñoz Díaz**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad Medicina, Departamento de Ciencias Fisiológicas  
Bogotá D.C, Colombia

2016

**EVALUACIÓN DEL DOLOR INDUCIDO MEDIANTE ESTÍMULO  
MECÁNICO CONTROLADO EN INDIVIDUOS SANOS, MEDIANTE  
ESCALA ANÁLOGO VISUAL VERSUS RESPUESTA GALVÁNICA  
DE LA PIEL.**

**Emma Patricia Muñoz Díaz**

N<sup>o</sup> Cogido 05599602

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Fisiología.**

Director (a):

Ph.D., M.Sc., MD, OSCAR ARMANDO GARCÍA VEGA.

Grupo de Investigación:

Grupo de trabajo en farmacología, investigación clínica y aplicada.

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad Medicina, Departamento de Ciencias  
Fisiológicas  
Bogotá D.C, Colombia  
2016

*“La principal meta de la educación es crear hombres capaces de hacer cosas nuevas y no simplemente de repetir lo que han hecho otras generaciones: hombres creadores, inventores y descubridores. La segunda meta de la educación es formar mentes que puedan ser críticas, que puedan verificar y no aceptar todo lo que se les ofrece”*

*Jean Piaget.*

## **Agradecimientos**

Después de tanto esfuerzo, tiempo y dedicación es apenas evidente que, aunque ni yo misma lo crea aprendo y crezco.

A mis profesores de la Maestría en Fisiología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia; sin cuyas grandes virtudes no hubiese sido posible presentar este trabajo.

Howard G. Hendricks dijo “la enseñanza que deja huella no es la que se hace de cabeza a cabeza, sino de corazón a corazón”.

Más que el aprendizaje de todos estos años y de todas las discusiones y temáticas del curriculum, me llevo el mejor ejemplo de vida que alguien me pudiese dar, el ejemplo de ser correctos, críticos, íntegros, de disfrutar de las pequeñas y grandes cosas de la vida, y de trabajar por un país cuya indiferencia hacia la educación superior y la educación pública pone trabas a su propio futuro.

Gracias queridos y dedicados docentes por no volverse indiferentes y seguir en la lucha. Gracias profesores Miguel Eduardo Martínez y Luis Eduardo Cruz por sus consejos y por compartir su sabiduría.

Pero, sobre todo, este trabajo hubiera sido imposible sin el acompañamiento del profesor Oscar Armando García, gracias por su paciencia y claridad.

Agradecimiento también a mi querido compañero de vida. Gracias por tu paciencia y cariño. Y sobre todo para mi querida Teresa quien siempre me apoyó.

## Resumen

**Objetivo:** Comparar la escala numérica analógica para la medición subjetiva del dolor, con la cuantificación objetiva de los cambios de impedancia en la piel y las modificaciones en la frecuencia cardiaca y en la frecuencia respiratoria, ante el dolor inducido por un estímulo mecánico de presión por la técnica de brazalete en individuos sanos.

**Métodos:** Se realizó un estudio observacional de tipo cuasi experimental. Los sujetos de estudio fueron 18 voluntarios sanos de ambos sexos a quienes se les aplicó el estímulo mecánico doloroso constante durante 10 minutos, con medición simultánea de la impedancia de la piel, la frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria y la calificación subjetiva minuto a minuto del dolor, mediante la escala análoga visual.

**Resultados:** Los datos obtenidos con la escala visual análoga (EVA) y los de impedancia de la piel (GRS), mostraron un claro incremento continuo y progresivo y una correlación de Pearson de 0.9239, indicando una relación estrecha fuerte. Las variaciones de frecuencia cardiaca y respiratoria no mostraron una progresión asociada con la duración del estímulo y la variación intersujetos fue alta.

**Conclusiones:** Bajo las condiciones específicas del estudio, el modelo implementado es una aproximación adecuada para reconocer la correlación entre las variaciones del estímulo de doloroso, su representación subjetiva en la escala análoga visual y los cambios asociados con la respuesta autonómica, específicamente las variaciones en la respuesta galvánica de la piel.

**Palabras clave:** Dolor, Respuesta galvánica de la piel, Escala análogo Visual.

## Summary

**Objective:** To compare the analog numerical scale for measuring subjective pain, with the objective measurement of impedance changes in the skin and changes in heart and respiratory rate, with pain induced by mechanical stimulation of pressure cuff technique in healthy individuals.

**Methods:** An observational study was conducted quasi-experimental. The study subjects were 18 healthy volunteers of both sexes who were administered with the constant painful mechanical stimulation for 10 minutes, with simultaneous measurement of skin impedance, heart rate, breathing rate and subjective rating minute by minute pain by visual analog scale.

**Results:** The data obtained with the visual analog scale (VAS) and the impedance of the skin (GRS), showed a clear continuous and progressive increase and Pearson correlation of 0.9239, indicating a strong close. Variations in heart and respiratory rate showed no progression associated with duration of stimulus and intersubject variation was high.

**Conclusions:** Under the specific conditions of the study, the model implemented is an appropriate approach to recognize the correlation between changes in stimulus painful, their subjective representation in the visual analogue scale and the changes associated with the autonomic response, specifically variations in galvanic skin response.

**Keywords:** Pain, galvanic skin response, Visual Analog Scale.

## Contenido

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. MARCO TEÓRICO.....	14
3. JUSTIFICACIÓN .....	49
4. PROBLEMA .....	51
5. OBJETIVOS .....	52
6. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	53
7. MATERIALES Y METODOS .....	54
8. RESULTADOS .....	62
9. DISCUSIÓN .....	75
10. CONCLUSIONES.....	83
11. RECOMENDACIONES.....	85
12. BIBLIOGRAFÍA.....	86
13. ANEXOS .....	93

## Lista de Figuras

<b>Gráfica 1</b>	Esquema de los mecanismos moleculares del dolor. -----	20
<b>Gráfica 2</b>	Esquema de entrada a la médula espinal -----	21
<b>Gráfica 3</b>	Subdivisiones de la sustancia gris de la médula espinal. -----	23
<b>Gráfica 4</b>	Grupos neuronales en la columna anterior y lateral. -----	24
<b>Gráfica 5</b>	Diagrama de las vías ascendentes. Adaptado de Mertens et al., 2015 <sup>60</sup> -----	25
<b>Gráfica 6</b>	Representación somatotópica corporal en la corteza somatosensorial primaria -----	26
<b>Gráfica 7</b>	Representación esquemática de las vías descendentes. -----	28
<b>Gráfica 8</b>	Conducto sudoríparo y aparición de las ondas de la conductancia. -----	44
<b>Gráfica 9</b>	Circuito equivalente del electrodo para biopotenciales en contacto con el cuerpo -----	47
<b>Gráfica 10</b>	Transductores utilizados en el protocolo -----	59
<b>Gráfica 11</b>	Amplificador GRS y conversor análogo digital de registro. -----	59
<b>Gráfica 12</b>	Escala de dolor -----	60
<b>Gráfica 13</b>	Ejemplo del tipo de registro realizado. -----	60
<b>Gráfica 14</b>	Comportamiento del promedio de la valoración de la EVA en los diferentes tiempos para los 18 voluntarios participantes. -----	64
<b>Gráfica 15</b>	Comportamiento de la escala análogo visual de los 18 voluntarios participantes -----	64
<b>Gráfica 16</b>	Comportamiento de la frecuencia cardiaca de los 18 voluntarios participantes -----	66
<b>Gráfica 17</b>	Comportamiento de la Impedancia en piel (Medido en $\mu$ S), de los 18 voluntarios participantes. -----	69
<b>Gráfica 18</b>	Correlación entre el promedio de la Impedancia en piel de los 18 voluntarios participantes versus datos de la escala análogo visual (EVA).-----	71
<b>Gráfica 19</b>	Correlación entre el promedio de la frecuencia cardiaca versus la escala análoga visual -----	72
<b>Gráfica 20</b>	Comportamiento de la frecuencia respiratoria de los 18 voluntarios participantes durante la prueba -----	73

# Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Claves E Innovaciones En La Interpretacion Del Dolor (1939-1999).....	18
<b>Tabla 2</b> Escalas unidimensionales del dolor adaptado de Montero, A. Manzanares. Escalas de valoración del dolor. Centro de Salud Villa de Vallecas. Madrid. España.2005.....	37
<b>Tabla 3</b> Escalas unidimensionales para valoración de dolor. ....	38
<b>Tabla 4</b> Variables de medición .....	54
<b>Tabla 5</b> Escala Análogo visual intrasujeto e intersujeto. ....	63
<b>Tabla 6</b> Resultados de Frecuencia cardiaca durante la aplicación del estímulo. ....	65
<b>Tabla 7</b> Resultados de la frecuencia respiratoria durante la aplicación del estímulo. ....	67
<b>Tabla 8</b> Resultados de las variaciones de la impedancia en piel. ....	68
<b>Tabla 9</b> Resultados promedios de los 18 voluntarios para las variables EVA, FC, FR y GRS.....	70
<b>Tabla 10</b> Relación entre la impedancia de la piel y escala análogo visual. ....	71
<b>Tabla 11</b> Ficha de Recolección de Datos.....	96



## Lista de símbolos y abreviaturas

### Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>BPS</i>	Escala de dolor conductual
<i>CPOT</i>	Observación del dolor en cuidado crítico.
<i>EVA</i>	Escala visual análoga
<i>EDR</i>	Respuesta electrodermal
<i>EDA</i>	Actividad eléctrica de la piel
<i>FC</i>	Frecuencia cardíaca
<i>FR</i>	Frecuencia respiratoria
<i>FLACC</i>	Cara –piernas-actividad y consuelo.
<i>GRS</i>	Respuesta galvánica de la piel
<i>ICPRBI</i>	Comité internacional para la promoción de la investigación de la impedancia
<i>MPQ</i>	Cuestionario McGill de dolor
<i>NNT</i>	Número necesario a tratar
<i>NFSC</i>	Número de fluctuaciones de la conductancia de piel
<i>NVPS</i>	Escala no verbal del dolor
<i>SCR</i>	Respuesta de la conductancia en piel
<i>SPRS</i>	Potencial de respuesta de la piel
<i>SNA</i>	Sistema nervioso autónomo
<i>VRS</i>	Escala de calificación verbal
<i>WDR</i>	Rango dinámico amplio.

# 1. INTRODUCCIÓN

El dolor es definido, como una experiencia sensorial y emocional desagradable. Es considerado como una sensación subjetiva y de difícil medición; tradicionalmente se utilizan escalas subjetivas unidimensionales y multidimensionales con la finalidad de censar el síntoma.

Este síntoma se presenta en los seres vivos durante las diversas etapas del desarrollo por causas propias del individuo o generadas por el ambiente. El dolor es uno de los síntomas más frecuentes e incapacitantes en los seres humanos pudiendo hacerse crónico o ser consecuencia de enfermedades como los diferentes tipos de cáncer, las enfermedades inflamatorias y autoinmunes.

Como lo propone Salazar: *“En la actualidad el dolor no es considerado a nivel gubernamental ni legislativa como un problema de salud pública; su alta prevalencia y su inadecuado manejo, aumenta los costos de los sistemas de salud a nivel mundial, afecta al sistema laboral y productivo de diversos países, y transforma el entorno biopsicosocial de los individuos”*.<sup>75</sup> A pesar del padecimiento que implica no se dedica la atención investigativa y de intervención que debe merecer.

El dolor también se reconoce a nivel mundial por diversas instituciones internacionales como la OMS (Organización Mundial De Salud) y la IASP (Asociación Mundial Para El Estudio Del Dolor) como el quinto signo vital.<sup>20</sup>

El dolor acompaña desde el principio de la historia al hombre quien lo interpreta según su cultura, experiencia y según el desarrollo científico de su tiempo. La interpretación de las vías del dolor, medicamentos y métodos para aliviarlo, han hecho parte de esta historia mucho antes de la invención de la anestesia.

Asumir el dolor como un signo vital, crea la necesidad de desarrollar estudios e investigaciones que permitan una interpretación a partir de herramientas para su

valoración y medición de forma objetiva y que puedan ser aplicadas a la población en general incluyendo personas con discapacidad cognoscitiva o motora que no pueden expresar de forma verbal su padecer. Esto redundaría en una intervención más eficaz y oportuna.

Las investigaciones clínicas y aquellas con bases fisiológicas, en el área de algosimetría han introducido formas de comparación del dolor involucrando métodos de registro objetivo relacionados con la utilización y medición de parámetros autonómicos; como la variabilidad en el ritmo cardiaco, cambios en la frecuencia respiratoria, o modificaciones imagenológicas principalmente a través de registros de resonancia magnética funcional cerebral, registros electroencefalográficos, entre otros; para verificar sus variaciones ante diversos estímulos dolorosos.

El presente trabajo pretende comparar la escala numérica analógica para la medición subjetiva del dolor, con la cuantificación objetiva de los cambios de impedancia de la piel y las modificaciones en la frecuencia cardiaca y en la frecuencia respiratoria, ante el dolor inducido por un estímulo mecánico de presión por la técnica de brazalete en individuos sanos.

Se han desarrollado diversas investigaciones en la práctica clínica en busca de un registro objetivo de dolor, en individuos sometidos a procedimientos quirúrgicos, pacientes bajo sedación y en recién nacidos, realizando comparaciones entre parámetros autonómicos, aportando en la búsqueda de una correlación entre la impedancia de la piel y sus variaciones frente al dolor.

Llama la atención que en la mayoría de estos estudios han sido excluidos los pacientes con deterioro neurológico que les imposibilita la comunicación verbal. Estas poblaciones no acceden a las escalas subjetivas de cuantificación del dolor, convirtiéndose en un segmento difícil para una medición y posterior manejo adecuado de su síntoma. La aplicación de escalas objetivas basadas en parámetros autonómicos, permitiría un acercamiento a la medición y manejo posterior más adecuado.

## 2. MARCO TEÓRICO

### Del origen del dolor y su relación histórica con la sociedad

Aunque se ha escrito en muchas ocasiones sobre el origen y la historia del dolor, ningún escrito, ni investigación puede hacer una afirmación sobre cómo, cuándo y dónde surge el dolor en la humanidad. Existen referencias que van desde las bíblicas relacionadas con la creación del hombre, hasta aquellas vinculadas a la teoría evolucionista del origen de las especies, como también los análisis y estudios hechos desde la modernidad científica y sociológica, en el contexto del mundo globalizado actual. Sin embargo, el presente escrito solo intentará una aproximación introductoria que favorezca una relación entre la historia del dolor como fenómeno humano y fisiológico, en las diferentes culturas y su manejo social y clínico. No se trata entonces, de definir el dolor como una verdad única y universal, sino de examinar a través del tiempo las variaciones que ha tenido el dolor como parte fundamental de la vida y la memoria de las culturas.

En efecto como lo señala David le Breton, *“la relación íntima del dolor depende del significado que éste revista en el momento en que afecta al individuo”*.<sup>13</sup> Esto significa que el dolor y sus manifestaciones también están determinados por el contexto cultural, ambiental, biológico y social en el que se presente. Como veremos adelante, culturas antiguas consideraban el dolor como un castigo de sus dioses, como fenómenos no naturales que se presentaban por hechizos, posesiones y otras manifestaciones, lo cual llevaba a la diversidad de formas de tratamiento para el mismo, dependiendo de cada cultura y cada momento en la historia.

El recorrido histórico por la forma de entender el dolor obliga a establecer la relación que ha existido y existe entre el dolor y la cultura. La historia muestra que el dolor no ha

estado ausente de las diferentes civilizaciones en las que han existido. Éste se representa a través del tiempo acompañando la evolución en las creencias sobre el origen y las causas del mismo. Resulta determinante entender y analizar la presencia del dolor en las relaciones humanas y su condicionamiento en la vida social. Desde la época primitiva, se otorgaba un rol fundamental a quien trataba el dolor: los sabios, los chamanes y los brujos, eran quienes, a través de su sabiduría, por conocimiento y experiencia trataban la enfermedad y el dolor.

El dolor en sí mismo, implicaba miedo, temor y tortura del cuerpo y del alma. De tal forma que a través de la amenaza o la presencia del dolor se creaban códigos, pautas de comportamiento y conductas disciplinarias, para evitar que tal sufrimiento fuera parte de la vida de los humanos en comunidad. De allí parten los sacrificios humanos, los castigos, la exclusión y el aislamiento para salvaguardar la vida de la comunidad. El dolor entonces en la antigüedad moldeaba la condición del ser social, y definía niveles de poder dentro de las comunidades. La influencia divina ha estado presente en la historia de las sociedades desde el origen de los tiempos y a ella se le atribuían poderes curativos o poderes de castigo en las sociedades politeístas. Unos dioses causaban la enfermedad y otros por el contrario eran invocados para su cura. En tal sentido, el dolor estaba asociado al mal, que no solo se manifestaba en los cuerpos humanos sino en los animales y las plantas. Quienes conocían el tratamiento para el dolor y sus paliativos, ostentaban un poder social fundamental; el poder de curar el mal que acechaba su pueblo; en contraprestación a tan loable labor eran receptores de dadas y beneficios. En ocasiones el curandero también debía infringirse dolor para sacar el mal, como esta referenciado en la cultura maya.

La evolución científica aportó grandes descubrimientos y desarrollo a las técnicas para el tratamiento del dolor, pero todavía en la Grecia y Roma antiguas, se tenía la creencia del origen divino del dolor. China ofrece una explicación que aunque con tintes metafísicos, aporta a los estudios sobre el dolor. La consideración de un desequilibrio de la energía vital, que media entre los dos componentes esenciales del ser humano: el Ying y el Yan, plantea que su origen no es algo externo. Lo que causa el dolor, que es dicho desequilibrio, que se puede generar por elementos externos, pero que su acción determinante es interna. En el caso de la India donde el dolor es consecuencia de pecados cometidos en vidas pasadas, resulta ser un elemento estructurador de la sociedad de

castas. El dolor está asociado a un karma, a una reacción divina a las acciones que se tuvieron en otra vida. Esta forma de entender el dolor y la enfermedad excluye a los enfermos y adoloridos de la vida en comunidad. El dolor como Karma, es un recuerdo, la memoria de la vida pasada, la cual se debe asumir y aceptar como una retribución de las vidas pasadas.<sup>77</sup>

Pero donde causa mayor impacto la relación del dolor con el castigo de origen divino es en la Edad Media. En esta época repleta de relatos metafísicos atribuidos a la voluntad de Dios, se reconoció el dolor y la enfermedad como un mal deseable; tenía que ser aceptado por quien lo padecía como designio divino, como prueba de fe; obligando a la ofrenda, a la limosna, así como a las oraciones y misas para aliviarlo o para evitarlo. Esta época representó un capítulo de la historia, en el cual lo que no se explicaba a partir de los postulados religiosos, era considerado herético, como brujería o hechicería. La investigación y la experimentación fueron condenadas y sus practicantes eliminados. Como lo plantea le Breton el dolor tiene consecuencias morales y sociales, incluso entre individuos no religiosos.

En la segunda mitad del siglo XX, el dolor llegó a ser entendido como una experiencia compleja que solo puede ser descrita por el sujeto que la padece. Aunque se pueden observar respuestas fisiológicas o conductas motivadas por el dolor, la medicina moderna reconstruye parámetros para representar nuestra comprensión de lo que sabemos que es el dolor. El dolor ha llegado a ser visto como un fenómeno subjetivo con muchos rasgos, de los cuales la gravedad o intensidad es, como comenta Melzack, "*la dimensión sobresaliente de dolor.*"<sup>43</sup> Es la intensidad la cualidad del dolor que ha sido objeto de más innovación metodológica e investigativa.

En la historia de la medición del dolor, se pueden identificar tres etapas:

La primera, la psicofísica, remontada al siglo XIX donde se realizó la medición del efecto de la analgesia mediante la estimulación dolorosa máxima tolerada.

En la segunda se utilizaron cuestionarios estandarizados para los pacientes para clasificar el dolor de acuerdo a las dimensiones afectadas.

En la tercera y última, los cuestionarios a los pacientes sobre la intensidad del dolor usando escalas de calificación, se hicieron populares en los ensayos clínicos para medicamentos analgésicos, influenciando así las guías clínicas para el manejo del dolor.

Durante el siglo XX la revolución tecnológica, lleva a un mejoramiento gradual de los procedimientos anestésicos, al desarrollo de nuevos fármacos analgésicos y anestésicos y se establecen nuevos conocimientos sobre el dolor y sus causas, así como métodos para su tratamiento. Se diferencia entre dolor agudo y dolor crónico y las bases fisiológicas y bioquímicas de la sensación dolorosa se reconocen de manera más detallada asociadas con procesos inflamatorios o relacionados con sustancias producidas endógenamente. En resumen el dolor es interpretado como un proceso fisiológico fundamental para la adaptabilidad y la supervivencia de los sistemas biológicos, y tanto sus causas como sus procesos de control endógeno o exógeno, pasan a ser vistos como parte del espectro fisiológico homeostático.

En la siguiente tabla se encontrará datos y fechas de las innovaciones en la interpretación de dolor a partir del año de 1939.<sup>62</sup>

**Tabla 1 CLAVES E INNOVACIONES EN LA INTERPRETACION DEL DOLOR (1939-1999)**

1939	Lista de palabras de dolor categorizadas en cinco grupos (Dällenbach)
1940	Métodos psicofísicos. JND umbral y la tolerancia (Hardy, Wolff, Goodell)
1941	Prueba de retirada de la cola a ante dolor experimentación en animales (D'Amour y Smith)
1948	Escalas descriptivas simples para la intensidad del dolor y el alivio del dolor (Keele)
1950	Desafío de validez de metodología psicofísica (Beecher)
1952	Principios y prácticas para la medición de la respuesta subjetiva establecida (Beecher)
1953	Índice de la media del dolor ( Beecher)
1956	Ensayos clínicos controlados de analgésicos. ECA crossover (Houde y Beecher)
1964	Línea de VAS 10 cm (Bond)
1966	Técnica torniquete. Intento de replicar el dolor clínico en laboratorio (Smith)
1971	Idioma del dolor lista ampliada en 3 categorías (Melzack y Torgeson)
1975	Cuestionario de dolor McGi II (Melzack)
1979	Definición de dolor por la IASP (Mersky )
1981	Escala de cara para medición de dolor en niños ( Rogers)
1982	Comportamientos dolor descrito y escala de conducta UAB Dolor (Keefe y Block, Richards)
1983	Teoría de la decisión Sensorial (Clark y Yang). directrices éticas para la investigación del dolor en animales (Zimmerman)
1987	Meta análisis en la investigación clínica (L'Abbe ')
1996	RTC evaluación de la calidad y sistema de revisión de terapia de dolor (Jadad, McQuay, Moore)
1996	TOTPAR,(Ali vi o del dolor total) SPID ( Intensidad diferente de dolor) y NNT (número necesario a tratar) (McQuay)
1999	Dolor quinto signo vital (Joel )

Traducido de Noble B, Clark D, Meldrum M, et al. The measurement of pain, 1945-2000. J. Pain Symptom Manage<sup>62</sup>

## Fisiología del dolor

Al hablar de dolor, debemos tener en cuenta que es una sensación que se compone de cuatro procesos: *Transducción, transmisión, percepción y modulación*.<sup>61</sup>

La transducción hace referencia a la conversión de un estímulo (mecánico, térmico, etc.) a una señal eléctrica (*potencial de membrana*) que viaja (*transmisión*) a través de múltiples estructuras hasta llegar al cerebro. Una vez la señal ha llegado al cerebro se inicia el proceso de integración central el cual es conocido como *percepción dolorosa*, e involucra la interpretación subjetiva de la señal. Es necesario mencionar el proceso de *modulación* el cual hace referencia al hecho que la señal puede ser modificada en cualquier parte del recorrido.

De lo anterior se puede deducir que hay tres componentes indispensables para el procesamiento:

- Vías aferentes: receptores, transductores y vías nerviosas centrípetas.
- Centros de integración: áreas corticales y subcorticales de procesamiento.
- Vías eferentes: vías nerviosas centrifugas con efectos sobre glándulas y musculo.

## Receptores

Corresponde a estructuras histológicas complejas con diversos grados de especificidad para la traducción frente a las formas de energía de los estímulos. Responden dentro de diversos rangos de una modalidad preferencial de estímulo, (estimulo adecuado para un órgano sensorial) y se han adaptado evolutivamente con capacidad variable para la detección de daño tisular. Los receptores son susceptibles, dependiendo de la variabilidad y persistencia temporal y espacial de los estímulos, de desarrollar procesos de sensibilización o de desensibilización a dichos estímulos como proceso adaptativo evolutivo. Esto involucra diferentes niveles de ajustes y reorganizaciones sinápticas y celulares que modifican los procesos de transmisión, modulación y percepción de la señal.<sup>99</sup>

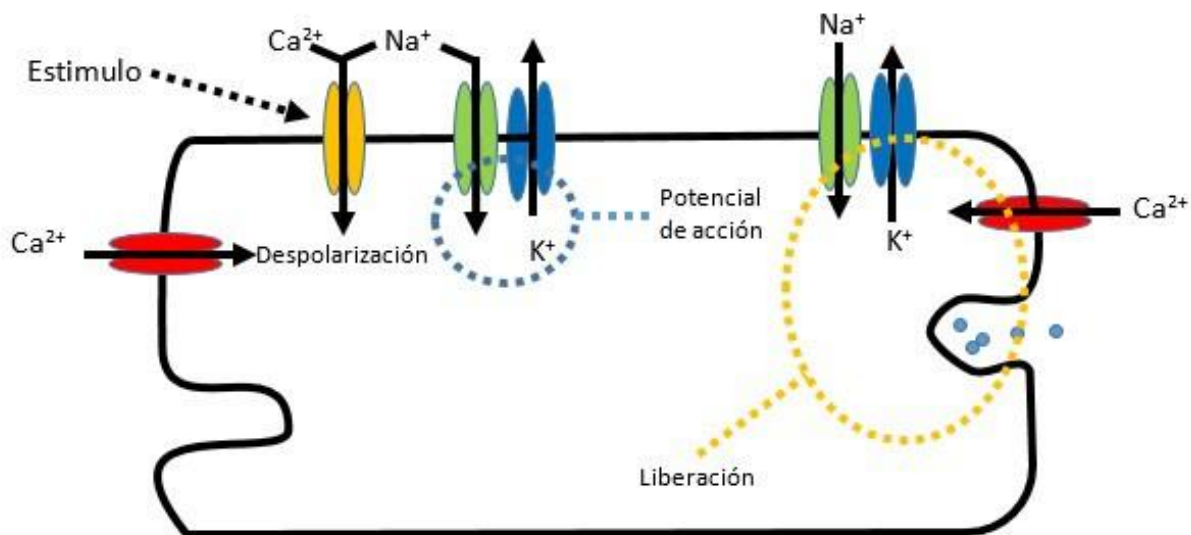
## Fibras nerviosas

Existen dos tipos principales (A y C). Las fibras A-delta (mielinizadas) conducen el potencial eléctrico “doloroso” rápidamente (velocidades superiores a 30 m/seg), mientras que las fibras C tienen una velocidades de conducción mucho menores (inferiores a 20 m/seg) <sup>59</sup>. A continuación, se describen algunas características adicionales de las fibras.

- A-beta: Umbral bajo para estímulos mecánicos.
- A-delta: Umbral alto o bajo para estímulos térmicos o mecánicos.

- C: Umbral alto para estímulos térmicos, químicos y mecánicos.

En cuanto al funcionamiento de las fibras, todas pueden tener activación espontánea, sin embargo, existe un “filtro” pues la despolarización y la frecuencia de disparo de los diferentes tipos de fibra, son dependientes de la magnitud del estímulo y de las características de especificidad en la transducción a nivel de la estructura del receptor. La activación de la fibra nociceptiva genera propagación de los potenciales de forma tanto ortodrómica como antidrómica. Esto modifica la activación de ramos terminales; responsables de la liberación de péptidos vasoactivos. El funcionamiento aferente no debe ser simplificado como tan solo un “potencial de acción”, pues cada etapa (inicio, conducción y liberación) tiene componentes de diversidad de frecuencias que les hacen complejos. El inicio del potencial (espiga) y su propagación se encuentra mediado por canales de sodio y potasio dependientes de voltaje, activados por la integración de potenciales graduados de la membrana celular transductora. Finalmente la liberación de neurotransmisores en las terminales sinápticas está mediada por canales de calcio dependientes de voltaje. (**figura 1**).



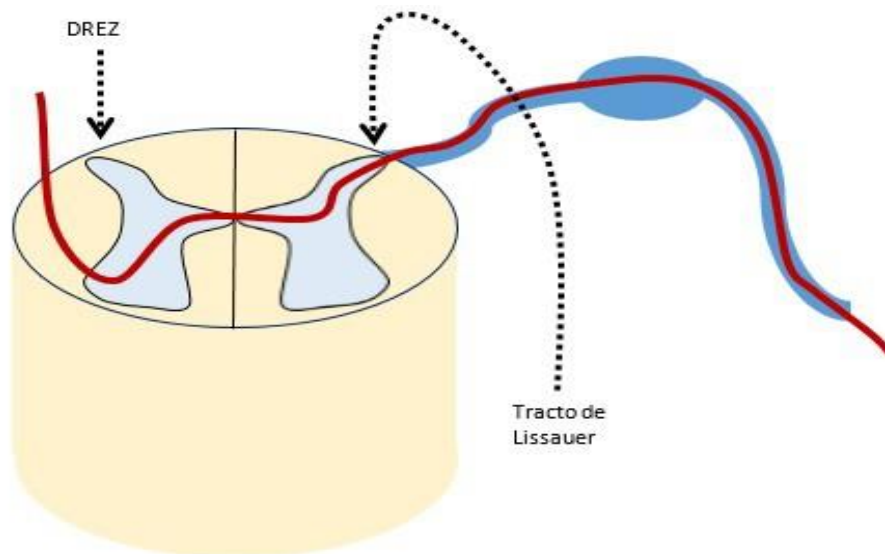
**Gráfica 1** Esquema de los mecanismos moleculares del dolor. Adaptado de Mertens et al., 2015 (59).

## Ganglio de la raíz dorsal

Es aquí donde se ubica el cuerpo de las neuronas las cuales son consideradas como pseudounipolares pues tienen una única extensión periférica y central. A este nivel las neuronas son clasificadas como peptidérgicas y no-peptidérgicas esto de acuerdo a la producción (o no) de sustancias como la sustancia P, calcitonina, péptido relacionado con el gen de la calcitonina y somatostatina.<sup>14</sup>

## Médula Espinal

El ingreso de la señal se hace a través de la zona de entrada de la raíz dorsal (DREZ) posteriormente las fibras forman el fascículo dorsolateral (también conocido como el tracto de Lissauer), desplazándose (varios segmentos) en sentido caudocraneal antes de realizar sinapsis con la neurona de segundo orden (**Gráfica 2**).



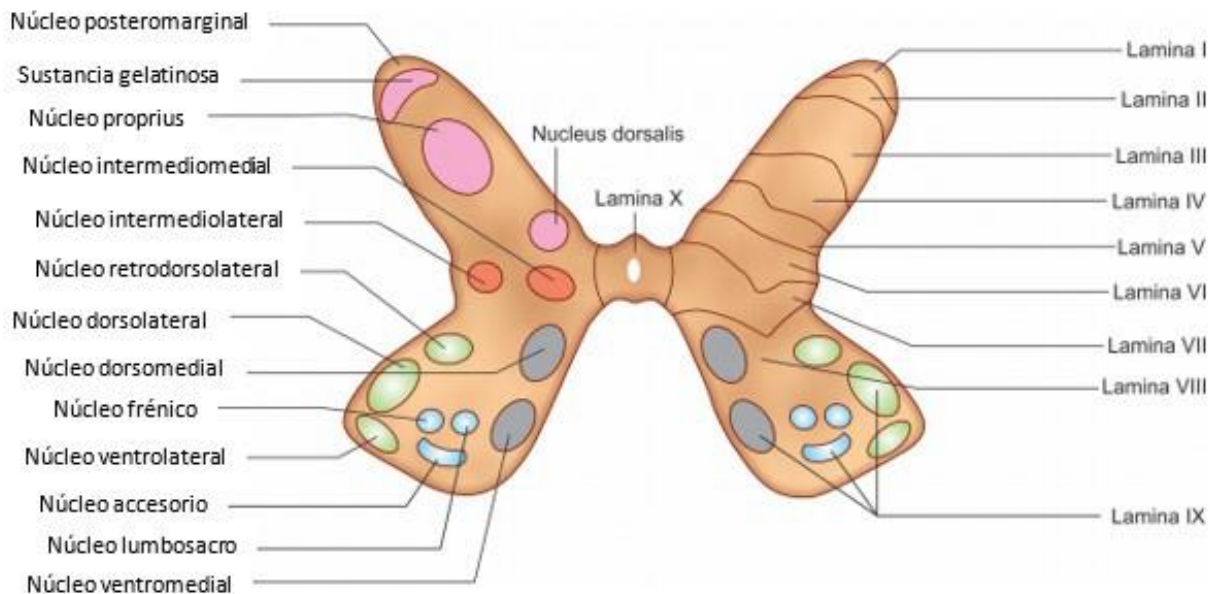
**Gráfica 2** Esquema de entrada a la médula espinal

Ya en la médula nos enfrentamos a una compleja disposición de neuronas las cuales se ubican de acuerdo a disposiciones específicas en las láminas de Rexed (**Figura 3**).

A continuación, se describirán algunas de las láminas más relevantes para el tema a tratar:

- Lamina I: Compuesta de neuronas nociceptivas específicas y también no específicas, estas últimas se conocen como neuronas de rango dinámico amplio (WDR) que tienen un área de recepción grande, lo cual las lleva a tener un papel muy importante en la integración medular de la señal, cabe aclarar que las WDR tienen una mayor concentración en láminas más profundas <sup>84,31</sup>. Las neuronas nociceptivas específicas envían sus fibras al tracto espinotalámico contralateral.<sup>61</sup>
- Lamina II: Posee neuronas inhibitorias (GABA) que regulan la actividad a nivel medular, así mismo contiene neuronas con altas concentraciones de sustancia P que es un péptido vital en la mediación del dolor<sup>91</sup>.
- Lamina IV: Rica en WDR las cuales realizan modulación de la percepción mediante las proyecciones a la lámina I.
- Lamina V: Las neuronas ubicadas aquí forman el tracto espinotalámico; existe una alta concentración de WDR las cuales tienen proyección a la formación reticular, sustancia gris periacueductal (PAG) y núcleos talámicos, lo que a su vez se proyecta al sistema límbico explicando en parte la respuesta afectiva al dolor.<sup>31</sup>.

Estos niveles de procesamiento son fundamentales en la modulación de la señal nociceptiva.

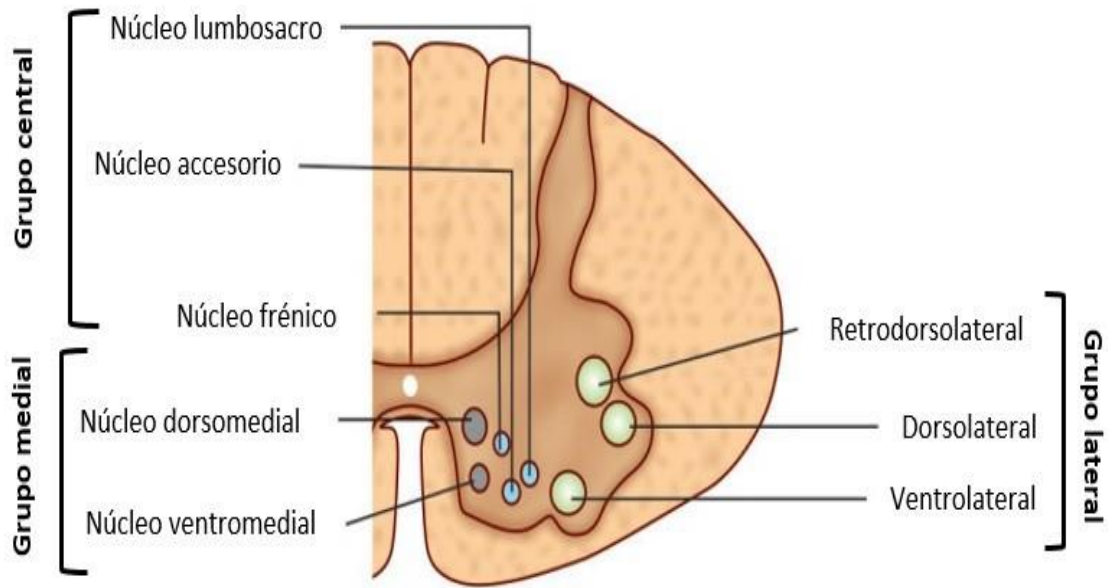


**Gráfica 3** Subdivisiones de la sustancia gris de la médula espinal. Adaptado de Inderbir Singh's Textbook of Human Neuroanatomy (p. 76), por P. Bhuiyan, L. Rajgopal, K. Shyamkishore, 2014, Nueva Deli, India: Jaypee Brothers. Derechos reservados 2014 por Jaypee Brothers Medical Publishers.

## Tractos Ascendentes

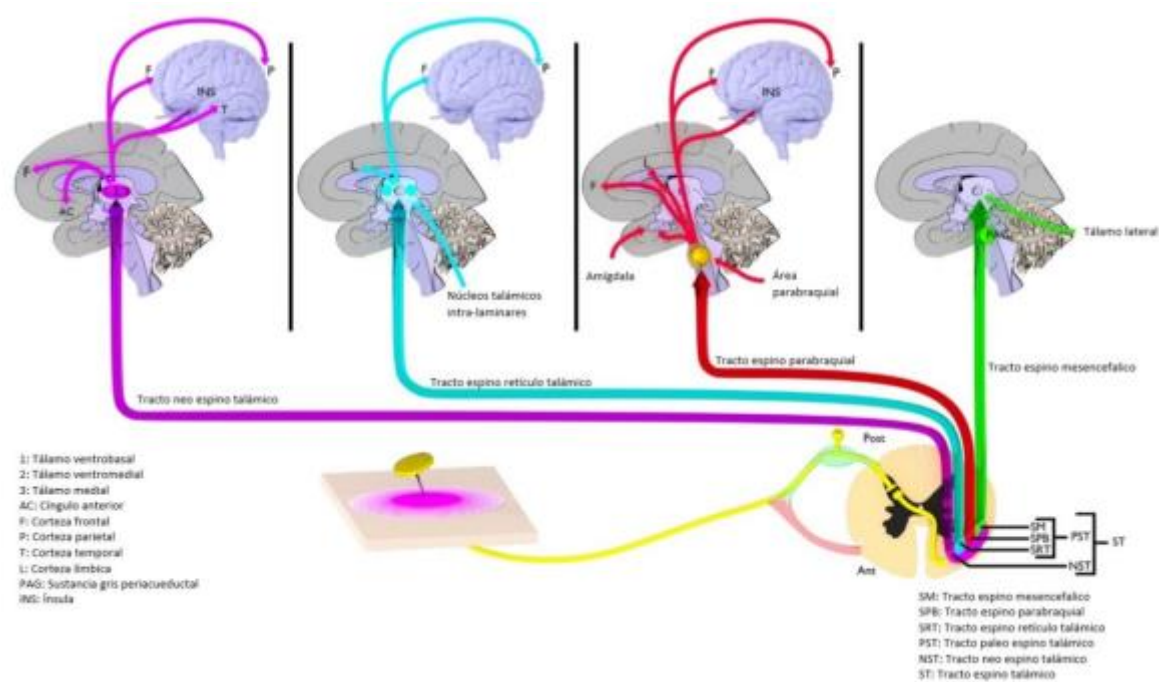
### 1.2.5.1 Vía espinotalámica (tracto espino talámico)

Se desplaza en la porción ventrolateral de la médula, llevando la señal de dolor, temperatura y tacto profundo; en este punto existe una distribución somatotópica pues el grupo ventrolateral lleva la información de los miembros superiores y el cuerpo, mientras que el grupo dorsolateral lleva la de miembros inferiores (**figura 3**). Podemos hacer una división de esta vía de acuerdo a su ancestralidad: el tracto neoespinotalámico y el tracto paleoespinotalámico. (**figura 5**).



**Gráfica 4** Grupos neuronales en la columna anterior y lateral. Adaptado de Inderbir Singh's *Textbook of Human Neuroanatomy* (p. 76), por P. Bhuiyan, L. Rajgopal, K. Shyamkishore, 2014, Nueva Deli, India: Jaypee Brothers. Derechos reservados 2014 por Jaypee Brothers

El tracto paleoespinal tiene conexiones con diversas estructuras (formación reticular, hipotálamo, amígdala, PAG, entre otras) que están directamente involucradas en la respuesta afectiva y emocional al dolor; así mismo algunos de los centros de interconexión, particularmente la PAG son responsables del inicio de mecanismos de modulación a nivel central.



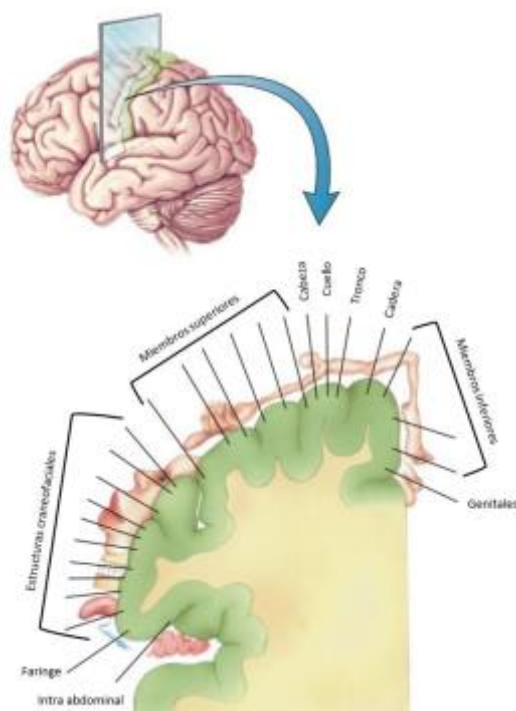
**Gráfica 5** Diagrama de las vías ascendentes. Adaptado de Mertens et al., 2015 <sup>60</sup>

## Tálamo

El tálamo es una estructura muy compleja, rica en aferencias de neuronas WDR lo cual hace que la respuesta dentro del mismo sea proporcional al estímulo, asociada con sus múltiples divisiones (núcleos) y cada uno de ellos con funciones específicas. Debemos resaltar el núcleo ventroposterior (ventral posteromedial y ventral posterolateral) que es centro de relevo (tal vez el más importante) para los tractos espino talámico y trigémino talámico. Dicho núcleo tiene una distribución somatotópica para cara, miembro superior y miembro inferior; así mismo la porción ventral del núcleo recibe las aferencias de la parte más distal de las extremidades y la porción dorsal las aferencias del tronco. El área central responde a estímulos mecánicos, no dañinos y el área posteroinferior responde a señales nociceptivas. El núcleo ventral posteroinferior se proyecta a la corteza somatosensorial primaria (S1) y secundaria (S2) y el núcleo ventromedial posterior se proyecta a la ínsula, lo cual confiere a estos núcleos un papel fundamental en la respuesta afectiva y conductual. No se pueden olvidar los núcleos talámicos intralaminares pues a pesar de que su extensión no sea la mayor, juegan un papel muy importante en la iniciación de respuestas protectoras, mediante las proyecciones hacia diferentes núcleos motores del tallo cerebral.

## Corteza

Con el estímulo doloroso existe activación en diversas partes de la corteza cerebral, las más importantes son la corteza somatosensorial primaria (S1), insular, orbito frontal, prefrontal dorsolateral, amígdala, cíngulo anterior y la somatosensorial secundaria (S2). El área S1 tiene una distribución somatotópica comúnmente conocida como homúnculo sensitivo (**Figura 6**). En las diversas áreas corticales se lleva a cabo la integración de la señal; si simplificamos en extremo el proceso podríamos decir que el estímulo nociceptivo realiza activación de S1 contralateral y S2 tanto contralateral como ipsilateral. Dicha activación es proporcional al estímulo y una vez se ha alcanzado hay proyecciones hacia la ínsula y de esta hacia amígdala y otras cortezas; la ínsula también recibe aferencias de los núcleos talámicos y estos también se proyectan hacia la corteza del cíngulo. Las proyecciones anteriormente mencionadas son responsables de la percepción consciente del dolor, la localización corporal, la definición del carácter (urente, picada, etcétera), además de la respuesta afectiva, emocional y conductual hacia el dolor.<sup>64</sup>



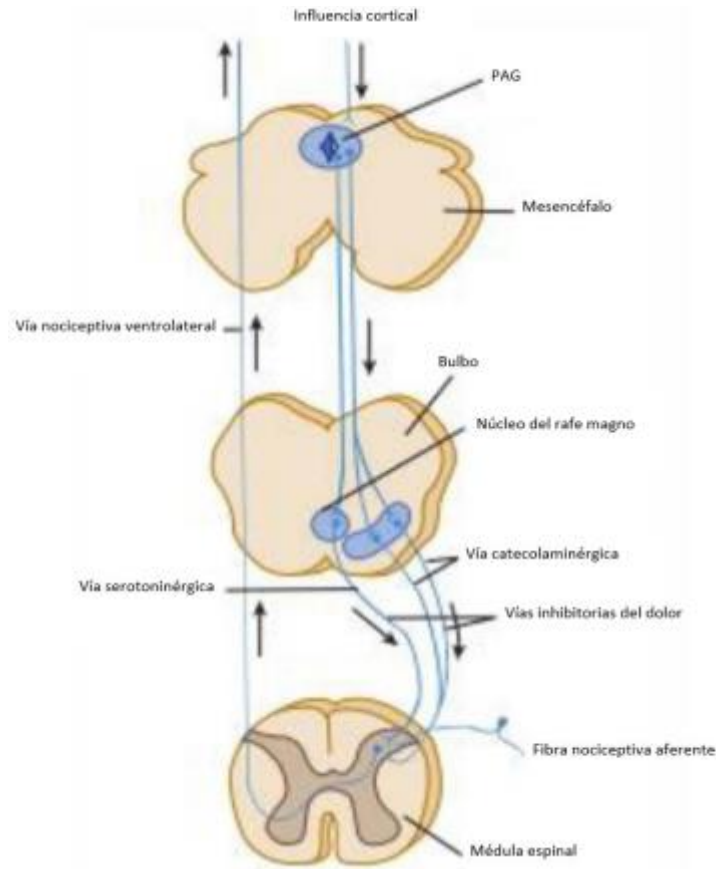
**Gráfica 6** Representación somatotópica corporal en la corteza somatosensorial primaria. Adaptado de Lippincott's Pocket Neuroanatomy (p. 55), por D. Gould, 2014, China: Lippincott Williams & Wilkins. Derechos reservados 2014 por Lippincott Williams & Wilkins

## Vías descendentes

Las neuronas que dan origen a estas vías, nacen en el bulbo rostral ventromedial (RVM), tegmento pontomesencefálico dorsolateral y PAG, se dirigen hacia la médula espinal y hacen sinapsis principalmente en las láminas I y II. Las neuronas anteriormente mencionadas pueden secretar serotonina, dopamina y/o norepinefrina y pueden ser pro nociceptivas o anti nociceptivas dependiendo del receptor que predomine en su superficie.

La regulación es función fundamental de los tractos descendentes; por ejemplo, se ha demostrado (en modelos animales) la inducción de analgesia al estimular la PAG no solo por fenómenos locales sino por fenómenos a distancia como la inhibición de la respuesta aferente en las neuronas de la lámina V, probablemente por la liberación de serotonina; La PAG está involucrada directamente en la analgesia mediada por opioides tanto exógenos como endógenos<sup>64</sup>. En cuanto la RVM podríamos decir que es el inicio común del proceso de modulación descendente, pues tiene aferencias de la PAG, tálamo, núcleo parabraquial y locus coeruleus. La RVM tiene dos poblaciones neuronales con función diferente, conocidas como ON y OFF las cuales responden al neurotransmisor inhibitorio por excelencia (GABA), así mismo el sistema PAG-RVM tiene una relación estrecha con el sistema endocanabinoide y el proceso de analgesia asociada a estrés<sup>62</sup>. La estimulación de la RVM también hace que se libere serotonina a nivel medular y aquí también se ve el fenómeno ON y OFF, pues el estímulo de receptores 5-HT<sub>1A</sub>, 5-HT<sub>1B</sub>, 5-HT<sub>1D</sub> y 5-HT<sub>7</sub> promueven la anti nocicepción y el estímulo de los receptores 5-HT<sub>2A</sub> and 5-HT<sub>3</sub> promueven la nocicepción.

Evaluación de dolor inducido mediante estímulo mecánico controlado en individuos sanos mediante escala análogo visual versus respuesta galvánica de la piel.



**Gráfica 7** Representación esquemática de las vías descendentes. Adaptado de *Clinical Neuroanatomy* (p. 200), por S. Waxman, 2013: Lange. Derechos reservados 2013 por McGraw- Hill Education.

El grupo de neuronas noradrenergicas se originan principalmente en el locus coeruleus y actúan como reguladoras tanto ascendentes como descendentes. La liberación de noradrenalina al líquido cefalorraquídeo activa receptores adrenérgicos que están involucrados en el mecanismo de analgesia. Por último, se debe mencionar la existencia del sistema dopaminérgico, el cual se inicia en el hipotálamo y puede estar involucrado en la regulación de la actividad neuronal a nivel de la lámina I.

Todos los sistemas de control descendente son blancos importantes para el manejo de dolor agudo y crónico, por lo cual es de vital importancia conocerlos a pesar que el motivo de esta revisión no este enfocada en el manejo.

## Medición de dolor

El dolor es un indicador de alteraciones del organismo, generado exógena o endógenamente y hace parte del proceso adaptativo evolutivo para la supervivencia. Se produce como resultado de cambios histológicos y bioquímicos, que se registran por los sistemas nociceptores, se procesan a diferentes niveles del sistema nervioso, e involucran interpretaciones perceptuales dependientes del individuo y su contexto social y cultural.

La valoración del dolor es llevada a cabo por el personal de salud y por los cuidadores que conviven con individuos con este padecimiento. Para acercarse a él se utilizan desde descriptores verbales hasta métodos de investigación especiales de alto costo como la imagenología funcional.

La respuesta dolorosa se califica desde el contexto del umbral subjetivo o perceptual, se relaciona con la intensidad del estímulo, y vincula componentes neurofisiológicos y emocionales. Para su aproximación clínica semiológica, se valoran parámetros como:

1. Localización.
2. Cualidades.
3. Intensidad.
4. Duración.
5. Efectos sobre la conducta no verbal.

Generar escalas para cuantificar el dolor en diferentes momentos clínicos, es un reto fundamental para mejorar la calidad en la atención de los individuos sometidos a procesos invasivos o que atraviesan por enfermedades o procesos patológicos causantes de dolor.

## Clasificación de dolor

Existen diferentes clasificaciones del dolor. Este texto describirá la clasificación del dolor desde un punto de vista académico, según la fisiopatología subyacente en nociceptivo y neuropático; y según la duración del síntoma en agudo y crónico. También se tendrá en cuenta el dolor referido como psicógeno.

El dolor neuropático surge de una lesión nerviosa periférica y está asociado con cambios autonómicos como en el síndrome de dolor regional complejo I y II, anteriormente conocido como distrofia simpática refleja y la causalgia.<sup>38</sup> Resulta de lesiones o alteraciones crónicas en vías nerviosas periféricas y o centrales. Puede desarrollarse y persistir en ausencia de un estímulo nocivo evidente, también se le considera como un "dolor patológico" dado que no evidencia resultados adaptativos para el organismo. Los síntomas pueden ser focales o generalizados. Característicamente, el síntoma se presenta como una sensación basal dolorosa o quemante (disestesia), con hiperalgesia (respuesta exagerada) o percepción de un estímulo cualquiera como doloroso (alodinia).

El dolor somático nociceptivo puede ser fisiológico o fisiopatológico. El dolor fisiológico, también conocido como dolor "rápido" es un evento de protección que permite al organismo localizarlo rápidamente y retirarse del estímulo con el fin de evitar o reducir el daño a los tejidos. Este sistema de respuesta está principalmente involucrada con respuestas reflejas de retirada, con variaciones concomitantes en la respiración, la circulación y la función endocrina. El dolor somático es habitualmente bien localizado y el paciente no tiene grandes dificultades en describirlo.

El dolor visceral nociceptivo es menos conocido que su contraparte somática. Su naturaleza cualitativa es diferente. Las vísceras son muy sensibles a la distensión y responden rápidamente a lo largo de toda su longitud. El dolor visceral tiene corta latencia (segundos), y puede verse asociado tardíamente a procesos isquémicos. Sorprendentemente, se puede experimentar dolor leve en condiciones de importante daño tisular como en las neoplasias, mientras que se puede percibir un dolor más fuerte, donde hay muy poco daño al tejido (cólico nefrítico). Tan sólo el 3% de los nociceptores puede responder a los cambios de presión intraluminal en el rango fisiológico, sin embargo, esta tasa de respuesta puede aumentar cuatro veces en condiciones

inflamatorias (cistitis), el resto de fibras aferentes pueden contribuir al aspecto cualitativo de la sensación.<sup>58,80</sup>

El dolor agudo es causado por estímulos nocivos, producto de heridas o enfermedades de la piel, estructuras somáticas profundas o viscerales. Puede también originarse por una función anormal muscular o visceral aunque no exista daño tisular efectivo. Los factores psicológicos influyen la manera en que se experimenta el dolor agudo, pero con raras excepciones éste no obedece a causas psicopatológicas o ambientales. El dolor agudo suele limitar la actividad, previniendo de esta manera un daño mayor o propiciando la curación. Sin embargo, el dolor agudo persistente e intenso puede ser deletéreo en sí mismo, con efectos potencialmente dañinos que se manifiestan con una respuesta neuroendocrina generalizada y a nivel de otros sistemas.<sup>80</sup>

Las investigaciones y observaciones experimentales actuales indican que el fundamento biológico y psicológico para el dolor persistente a largo plazo, está asociado a eventos ocurridos pocas horas después de la lesión, con la expresión neuronal de nuevos genes que son la base para la sensibilización neuronal y la remodelación sináptica. También se han reconocido cambios histológicos a mediano y largo plazo, posterior a las intervenciones quirúrgicas como la ligadura transitoria de nervios. La literatura clínica emergente, también sugiere que el dolor agudo puede evolucionar rápidamente en dolor crónico. Ejemplo de ello se encuentra en la intensidad del dolor durante el herpes zóster que predice la probabilidad de desarrollar neuralgia posherpética.

Ello sugiere que el dolor agudo debe ser visto como la fase inicial para fases posteriores más extensas y persistentes. Se pueden generar cascadas de reacciones nociceptivas provocada por el daño tisular, con potencial para extenderse en magnitud, en el espacio y el tiempo. Si la supresión de las respuestas al dolor no se realizó conjuntamente con los procesos de amplificación del dolor, cualquier lesión menor podría progresar a dolor crónico.<sup>18</sup>

El dolor crónico, se ha definido como “el dolor que se extiende más de 3 o 6 meses desde su aparición, va más allá del período de curación de una lesión tisular, o está asociado a una condición médica crónica o a un proceso patológico crónico que causa dolor continuo o recurrente. Este tipo de dolor tiene efectos fisiológicos, psicológicos y conductuales sobre el paciente y su familia, además de costos sociales.

Entre sus características además del factor tiempo, el dolor crónico en ocasiones posibilita la identificación de la patología causal, la cual suele ser útil para explicar la presencia y o la intensidad del dolor. Este tipo de dolor responde pobremente a los tratamientos habituales, y los pacientes quienes le padecen se les suele administrar diversos esquemas analgésicos hasta obtener la mejora o disminución del nivel de dolor. La intensidad del dolor puede variar de leve a intenso. Algunos tipos de dolor crónico, tienen unos patrones y características bien definidas, mientras que otros no lo tienen, y es difícil diagnosticar la causa <sup>58</sup>.

El dolor crónico afecta a un cuarto de la población general (rango del 8 al 80%, promedio 27%) por ello, es considerado un problema de salud a nivel mundial. <sup>26</sup>

En nuevos estudios se puede evidenciar alteraciones cerebrales en los pacientes con dolor crónico. Esto ha llevado a la consideración de posibles procesos de deterioro en la retroalimentación negativa entre los circuitos moduladores en el procesamiento del dolor. Por tanto el crónico no solo se perpetúa sino que induce comorbilidad incluyendo déficit cognitivo. <sup>15</sup>

El dolor Psicógeno es un dolor no orgánico, que surge como consecuencia de padecimientos de origen psíquico. Entre ellos, pueden incluirse los que aparecen en las neurosis (histeria, estados obsesivos compulsivos, estado de ansiedad e hipocondría) y en la psicosis (esquizofrenia en forma de alucinaciones y especialmente en los trastornos afectivos). Forma parte de los síndromes dolorosos crónicos, es real y precisa de un tratamiento específico por el psiquiatra. Si bien su origen en lesión tisular puede o pudo existir, el problema central es la amplificación y distorsión de esos impulsos periféricos por el estado psicológico. <sup>89</sup>

## **Estadística sobre el dolor**

Una apropiada y puntual medición del dolor es esencial para un correcto manejo clínico de los síntomas molestos. Las herramientas para su medición son relevantes en su diagnóstico y manejo terapéutico. Las investigaciones básicas de los correlatos neurales del procesamiento del dolor nos permiten un acercamiento a dichas herramientas. La aproximación más asertiva actualmente es a partir del autoreporte, tanto en la clínica como en el medio experimental. Las escalas subjetivas del dolor continúan siendo el

estándar de oro para su evaluación y son ellas quienes seguirán siendo un aspecto integral de la evaluación del dolor mientras el sujeto tenga las condiciones para generar el reporte.

En un estudio realizado por Puntillo (1990), el 29% de los pacientes no recuerdan su dolor, el 71%, de los pacientes de la UCI entrevistados dentro de los 5 días posteriores al egreso, informaron que experimentaron dolor. De estos pacientes 63% describen este dolor como moderado a grave. A pesar del hecho de que las evaluaciones de dolor eran retrospectivas, este estudio pone de manifiesto que los pacientes experimentan dolor en la unidad cuidados intensivos y por su nivel de sedación y uso de tubos endotraqueales, no pueden expresarlo.<sup>98</sup>

El dolor crónico afecta a un cuarto de la población general; ello es expuesto por la revisión sistemática realizada por la Asociación Internacional para el estudio del dolor. Sus resultados proponen que el 27% de la población general padece de dolor crónico. La federación europea de la IASP en una encuesta a 46,000 personas de 16 países de la unión europea encontró que el 19% de la población padece de dolor crónico.<sup>75</sup>

El impacto del dolor crónico en los pacientes, el sistema de salud y la sociedad en general es enorme. Un estimado de 50 millones a 100 millones de adultos en los Estados Unidos sufre de dolor crónico. El dolor afecta a una mayor proporción de estadounidenses que las enfermedades del corazón, el cáncer y la diabetes. El costo económico es elevado, con más de USD \$ 100 mil millones por año, resultado de la pérdida de la productividad y el aumento del costo en la asistencia sanitaria.<sup>30</sup>

A nivel nacional, la Asociación Colombiana para el Estudio del Dolor, presento sus estadísticas del quinto estudio del dolor nacional del 2010. Fueron entrevistadas 1.011 personas provenientes de 12 ciudades del país, en una investigación de tipo cuantitativa telefónica. El 68.5% de la población era mayor de 41 años. Se reconoció una prevalencia superior al 60% de dolor músculo esquelético para esta población. De estos, el 34.6% manifestó duraciones superiores a los 6 meses. El 76%, padecía de dolor el en momento de la entrevista. La ubicación del dolor en el 48% era de los miembros inferiores, 43% miembros superiores, 27% en la espalda, 10.6 % en la cadera, en el cuello 7.6 % y 10.3 % en otros sitios. La interferencia en actividades diarias de trabajo (incapacidad) fue: 0-3 días en el 79.4 %, 4 a 15 días en el 16.9 %, 16 a 30 días en el 2%, 31 o más días en el

1.8%. El impacto del dolor fue medido a través del impacto porcentual en las actividades afectadas, encontrando: Hábitos de la vida diaria 79.5 %, sueño 58.5 %, consumo mayor de medicamentos 20.8 % y cambios en la vida sexual 5.1%.<sup>37</sup>

Estos aspectos nos llevan a concluir que el dolor es un gran problema de salud pública, pero que aún no se le ha dado la dimensión que corresponde por parte de las entidades estatales en Colombia y en la mayoría de los países del mundo.

La evidencia epidemiológica mostrada de los países desarrollados ha expuesto que el dolor crónico es un problema generalizado de salud pública. En encuestas basadas en la comunidad se encuentra que entre el 15% y el 25% de los adultos sufren dolor crónico, una cifra que aumenta al 50% en los mayores de 65 años.<sup>9</sup>

La presencia permanente de dolor puede llevar a consecuencias serias desde el punto de vista funcional, cognoscitivo, emocional y social. La funcionalidad se altera debido a una franca disminución en la actividad que origina desacondicionamiento físico, trastornos de la marcha y lesiones por caídas frecuentes. Las consecuencias sociales incluyen un incremento en los gastos que ocasionan problemas de índole económico, la utilización exagerada de los servicios de salud, el cansancio y el alejamiento de los familiares y los amigos y la ambivalencia en los cuidadores; consecuencias que se traducen en una disminución de la calidad de vida, en soledad, y en amplificación de los trastornos funcionales y emocionales, los cuales son más intensos cuando el paciente no es tratado adecuadamente. La información obtenida en la evaluación del dolor ayuda a definir el plan de cuidado incluyendo las terapias farmacológicas cuyo objetivo primordial es aliviar el dolor, teniendo siempre en mente la prevención y manejo temprano de los eventos adversos que pueden disminuir la calidad de vida.<sup>17</sup>

El dolor con una inadecuada valoración o medición tiene graves secuelas fisiológicas. Puede comprometer la recuperación y afectar negativamente la morbilidad y la mortalidad; también causa ansiedad y depresión, puede dar lugar a hipoxemia, resultante de trastorno respiratorio, isquemia miocárdica como consecuencia del aumento de la actividad simpática, choque cardiovascular de origen neurogenico, disminución de la actividad gastrointestinal y tromboembolismos.<sup>91</sup>

El dolor provoca estrés, respuesta metabólica conducente a la elevación de catecolaminas plasmáticas, cortisol, glucosa y hormona antidiurética. Esto tiene como

resultado taquicardia, hipertensión, vasoconstricción, aumento del consumo de oxígeno y alteraciones en la respuesta inmune, que complican la condición del paciente y prolongan la estancia hospitalaria con posibilidad de infecciones nosocomiales. El riesgo de morbilidad se incrementa aún más en pacientes comprometidos por ciertas condiciones subyacentes, tales como angina inestable e insuficiencia respiratoria, ansiedad y depresión.

En los neonatos el tratamiento inadecuado del dolor puede conducir a la inestabilidad hemodinámica. La hipoxemia y el aumento de la presión intracraneal son desencadenantes potenciales de hemorragia intraventricular.<sup>98</sup>

La tasa de suicidios en pacientes con dolor crónico es alta y las peticiones de eutanasia en enfermos terminales con dolor intenso, también han aumentado. El dolor crónico es costoso en términos de uso de la atención de salud, genera trastornos psicológicos que aumentan la comorbilidad, la depresión, los trastornos de ansiedad, los trastornos del estado de ánimo y problemas psicosociales; generando riesgos de enfermedad psiquiátrica en el futuro. En la literatura general se reconoce el dolor asociado con depresión crónica, asignándosele un pronóstico reservado.

Este síntoma se ha convertido en un componente inherente al envejecimiento. Los adultos mayores aumentan su probabilidad de padecer dolor por incremento de intervenciones quirúrgicas y enfermedades de carácter crónico. Se calcula que este grupo poblacional tienden a ir en aumento hasta el punto que en los países desarrollados pasará del 17,5 al 36% en el año 2050.<sup>75</sup> El dolor en los adultos mayores es a menudo tratado con deficiencia, y puede ser especialmente cierto en los adultos mayores con demencia. Los cambios en la capacidad del paciente para comunicarse verbalmente presentan desafíos especiales para tratar el dolor, ya que el autoreporte se considera el estándar de oro para su medición. El dolor no tratado en adultos mayores con deterioro cognitivo puede retrasar su curación, alterar los patrones de sueño, de actividad y ejercicio y reducir la calidad de vida, prolongando los periodos de hospitalización.<sup>41</sup>

## **Herramientas para la medición del dolor**

Una adecuada medición del dolor es esencial para su apropiado manejo clínico. Las herramientas para la medición del dolor son de relevancia para su diagnóstico y manejo terapéutico. El autoreporte es en la actualidad la herramienta más utilizada tanto en la clínica como a nivel experimental. <sup>(52)</sup> Las escalas subjetivas para medir el dolor son en algunos casos de fácil aplicación; la disyuntiva surge cuando se tienen poblaciones como niños con desarrollo parcial del lenguaje o adultos cuya condición clínica, cuyo nivel de sedación o cambios en su condición neurológica, no les permite expresarse.

La combinación lineal de múltiples parámetros autonómicos, amplía la evaluación de la magnitud del dolor en respuesta al estímulo con intensidades variables, en comparación con el uso aislado de cada parámetro. La medición de la variabilidad de los ritmos cardíaco y respiratorio, así como las variaciones en la conductancia de la piel, permiten caracterizar la respuesta autonómica multiorgánica frente al dolor. Este registro proporciona un indicador multidimensional. El desarrollo futuro de cuantificaciones objetivas para el dolor pueden complementar o en algunos casos, incluso servir como alternativa al autoreporte.

## **Escalas para medición del dolor**

Las complejas dinámicas entre factores fisiopatológicos y biopsicosociales, hacen que la evaluación objetiva del dolor siga siendo difícil de alcanzar. Muchas de las medidas subjetivas de dolor han sido desarrolladas y producen resultados consistentes y fiables cuando se utilizan correcta y apropiadamente.

Existen diversas escalas para medir el dolor basadas en cambios del comportamiento y combinación de alteraciones fisiológicas y observación por parte del evaluador.

La evaluación del dolor debe basarse en cuatro pilares:

1. Anamnesis e historia clínica general, específicamente orientada al dolor.
2. Exploración clínica.
3. Evaluación psicosocial.
4. Diagnóstico.

### Escalas Unidimensionales.

El dolor es valorado a través de escalas unidimensionales y multidimensionales. Las escalas unidimensionales son una interpretación verbal categórica entre ellas encontramos:

Nombre	Fecha de creación	Método	Ventajas - Desventaja
<b>La escala verbal de evaluación VRS (escala de calificación verbal)</b>	Fue introducida 1948 por Keele.	Consiste en una lista de descriptores que representan varios grados de la intensidad de dolor. La elección de la palabra refleja el grado de dolor.	Las palabras usadas son descripciones relativas y no tienen aceptación universal. Son dependientes del idioma, escolaridad y comprensión.
<b>Escala análoga visual</b>	Fue ideada por Scott-Huskinson en 1976.	Representa la intensidad del dolor en una línea en centímetros, 0 cm a 10 cm. En uno de los extremos manifiesta la frase de «no dolor» y en el extremo opuesto, el peor dolor imaginable. La distancia recorrida en centímetros desde el punto del no dolor a la marcada por el paciente representa la intensidad del dolor. Un valor inferior a 4 en la EVA significa dolor leve o leve- moderado, un valor entre 4 y 6 implica la presencia de dolor moderado-grave, y un valor superior a 6 implica la presencia de un dolor muy intenso.	Es la escala más usada. Se necesita que el paciente tenga buena coordinación motora y visual, por lo que tiene limitaciones en el paciente anciano y en el paciente bajo sedación.
<b>Escalas numéricas de calificación NRS:</b>	Desarrollada por Downie en 1978.	Consiste en una escala numérica; 0 a 100 o de 0 a 10, donde 0 denota ausencia de dolor 10 y 100 describen el peor dolor. Se puede utilizar para medir el alivio del dolor. También se usa para pedir a los pacientes comparar el dolor antes y después del tratamiento.	Las NRS se consideran válidas y sensibles, con una correlación significativa con otras medidas de la intensidad del dolor
<b>Escala de la expresión facial (Faces Pain Scale [FPS])</b>	Fue desarrollada por Bieri en 1990 para su uso en niños menores de 3 años.	Está compuesta por rostros con diferentes expresiones que representan a una persona que está feliz porque no siente dolor o que está triste porque siente algo de dolor o que está llorando porque tiene mucho dolor. A cada rostro se le asigna una puntuación. Se pide al paciente que seleccione el rostro que describe mejor cómo se siente.	Presenta utilidad para valorar el dolor en pacientes con incapacidad para describirlo o para comprender las formas de valoración, como personas analfabetas, con datos aceptables de fiabilidad y validez.

**Tabla 2 Escalas unidimensionales del dolor adaptado de Montero, A. Manzanares. Escalas de valoración del dolor. Centro de Salud Villa de Vallecas. Madrid. España.2005**

### Escalas multidimensionales:

La intensidad del dolor, alivio del dolor y los trastornos psicológicos son juicios subjetivos que interactúan de manera compleja para determinar la percepción y la experiencia dolorosa. Las herramientas multidimensionales de medición del dolor se pueden utilizar para evaluar la experiencia del dolor en general.

Nombre	Fecha de creación	Método	Ventajas o Desventaja
<b>Cuestionario McGill (Mc Gill Pain Questionnaire-MPQ)</b>	Fue desarrollado por Melzack en 1975.	Precisa responder a 16 grupos de preguntas. El cuestionario tiene un dibujo del cuerpo para establecer la ubicación del dolor. Una escala VRS define la intensidad y una lista de 78 adjetivos, amplían la descripción de la sensación. Valora 3 aspectos: sensorial (localización, aspectos táctiles, aspectos temporales y propiedades térmicas), afectivo (tensión emocional, signos vegetativos y miedo) y evaluativo (emocional). <sup>40</sup>	Su empleo, debido a su complejidad, no supone ninguna ventaja en los pacientes críticos ni durante el postoperatorio inmediato. Su vocabulario, traducción a otras lenguas y las diferentes interpretaciones de sus adjetivos según la edad, el sexo y posición social no son fáciles.
<b>Escala COMFORT</b>	Introducida en 1992 y validada mediante un estudio aleatorizado y controlado en 1996.	Herramienta diseñada para el uso en niños ventilados mecánicamente, consta de 8 parámetros, cuatro fisiológicos y cuatro comportamentales, es independiente de la edad. Caracteriza tres rangos de sedación valores entre 8 a 16 puntos corresponden a una sedación profunda, de 17 a 26 se considera sedación óptima y un valor de 27 a 40 indica una sedación inadecuada. <sup>6</sup>	Permite identificar pacientes con stress, agitación o disconfort. 4 de sus 8 variables son subjetivas (tono, expresión facial, agitación, alerta) por lo que están sometidas al sesgo del observador.
<b>La herramienta BPS:</b>	Fue desarrollada por Payen, se basa en los hallazgos del estudio de Puntillo.	La escala de dolor del comportamiento conductual, evalúa el dolor en los pacientes sedados en la unidad de cuidados intensivos. Pone en relieve la relación entre ciertos indicadores de comportamiento y los autoinformes de los pacientes con dolor. Tiene 3 dominios: "la expresión facial, el movimiento de las extremidades y el cumplimiento de la ventilación". <sup>98</sup>	Limitaciones pacientes con sedación profunda, tratamiento con bloqueantes neuromusculares, tetraplejía o polineuropatía.
<b>Herramienta de observación del dolor en cuidado crítico (CPOT):</b>	Fue desarrollada utilizando elementos de otras de evaluaciones existentes (incluyendo el BPS), y otros aspectos.	Fue validada en pacientes críticos no comunicativos. Incluye 4 ítems conductuales: la expresión facial, los movimientos del cuerpo, la tensión muscular y la adaptación al ventilador (en pacientes intubados) o la vocalización (en pacientes extubados). La puntuación de cada indicador oscila entre 0 y 8, con un rango total de 0 (sin dolor) a 8 puntos (dolor máximo). <sup>16</sup>	Tiene las mismas limitaciones que la BPS.
<b>Escala no verbal de dolor (NVPS)</b>	Fue desarrollada para los pacientes en una unidad de quemados y para niños.	Está basada en una escala diseñada para niños. (The FLACC Tool). La escala de valoración de dolor de la Cara, Piernas, Actividad, Llanto y Consuelo. La NVPS original contemplaba cinco categorías: movimientos faciales, movimientos corporales, estado de alerta, fisiológica I (presión arterial, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria), y fisiológica II (pupilas dilatadas, rubor, sudoración, palidez).	En una revisión posterior se sustituye la categoría fisiológica II, que exhibió una baja fiabilidad y validez, por una categoría respiratoria (ritmo respiratorio, pulsoximetría y el grado de acoplamiento de ventilador). <sup>58</sup>

**Tabla 3 Escalas unidimensionales para valoración de dolor.**

## **Aproximación a la medición del dolor a partir de la variación de la impedancia de la piel.**

### **Estructura de la piel**

La piel es el órgano más grande del cuerpo ya que representa el 16 % del peso corporal, está constituida por dos capas principales un epitelio superficial llamado epidermis y una capa de tejido conectivo subyacente que es la dermis. Por debajo de la dermis se encuentra la hipodermis, esta no forma parte de la piel, pero constituye la fascia superficial que cubre a todo el cuerpo. Entre sus características se encuentra tener un doble origen embrionario, la epidermis procede del ectodermo y la dermis del mesodermo.

La irrigación sanguínea de la piel es llevada a cabo por arterias que provienen de la capa subcutánea, formadas por una red horizontal entre la dermis e hipodermis. De la hipodermis salen ramas arteriales que irrigan el tejido subcutáneo. Existe un plejo arterial que se dirige a las papilas, la red subpapilar, donde se divide para constituir redes capilares que irrigan las glándulas sebáceas y porciones intermedias del folículo piloso.

El retorno venoso está constituido por una red ubicada por debajo de las papilas, que a su vez se comunica con un segundo plejo debajo de ella y por medio de este con un tercer plejo en la unión entre dermis e hipodermis. En este tercer plejo desembocan la mayor parte de venas procedentes de los lobulillos de grasa y glándulas sudoríparas, de allí se dirigen a una red más profunda de venas mayores localizadas en el tejido subcutáneo y llegan a grandes venas que acompañan a las arterias.

Los glomus ubicados a nivel de la dermis, son anastomosis arteriovenosas que regulan la temperatura corporal siendo abundantes en puntas de dedos de manos y pies. Los vasos linfáticos de la piel se inician en las papilas y se dirigen a un plejo linfático localizado por debajo de la unión dermoepidérmica. También recibe linfa de los plejos que rodean las glándulas sebáceas, sudoríparas y los folículos pilosos.

La piel al recibir estímulos del medio externo cuenta con números nervios sensitivos,

~~originados en las ramas sensoriales de los pares craneanos y de los nervios espinales;~~

estos difieren en su calibre y grado de mielinización. A nivel de la hipodermis se encuentran haces de nervios de gran tamaño que envían ramas a plejos localizados en la zona reticular y papilar. Diversas fibras sensitivas inervan los folículos pilosos, también hay fibras simpáticas eferentes que inervan los vasos sanguíneos, músculos erectores del pelo, glándulas sudoríparas y células secretoras. Otras terminaciones nerviosas cutáneas están rodeadas por una cápsula de tejido conectivo. Estas son: corpúsculos de Vater-Pacini, de Meissner, de Ruffini y de Krause.<sup>2</sup>

La epidermis está conformada por un epitelio poliestratificado plano queratinizado y está constituida por las siguientes células: Queratinocitos, Melanocitos, células de Langerhans y células de Merkel. El estrato Corneo, está constituido por células muertas semejantes a escamas se van aplanando hacia la superficie de la epidermis.

La hipodermis es el tejido subcutáneo que se localiza por debajo de la capa reticular de la dermis. Es un tejido conjuntivo conformado principalmente por células adiposas. La densidad y disposición de la capa subcutánea determina la movilidad de la piel, permite el aislamiento térmico del cuerpo.

Las glándulas sebáceas están conectadas con los folículos pilosos, por lo general hay varias glándulas por folículos, también hay glándulas que no están relacionadas con folículos, en estos sus conductos desembocan directamente en la superficie libre de la piel, faltan en las palmas de las manos y las plantas de los pies. Son glándulas alveolares que sintetizan lípidos y una sustancia oleosa llamada sebo el cual cumple funciones bacteriostáticas, estas glándulas están influenciadas por las hormonas sexuales.<sup>60</sup>

Las glándulas subcutáneas son invaginaciones de la epidermis en el interior de la dermis. Hay varias clases de glándulas asociadas con la piel: Glándulas sebáceas, glándulas sudoríparas, glándulas ceruminosas, glándulas mamarias.

Se reconocen dos tipos de glándulas sudoríparas, las glándulas ecrinas y las glándulas apocrinas. Son glándulas tubulosas enrolladas, constituidas por un elemento secretor o adenómero, localizado en la dermis reticular o en la parte superior de la hipodermis.

La porción excretora o conducto asciende a la epidermis y se enrolla en espiral a través de ella para llegar a la superficie libre, donde confluyen a través del poro sudoríparo. La porción secretora de la glándula está conformada por un epitelio cilíndrico o cúbico simple, sostenido por una lámina basal bien definida.

El conducto excretor es delgado y está revestido por una doble capa de células cúbicas, las células de la capa basal presentan grandes núcleos y numerosas mitocondrias. Las células que forman la capa interna de la pared del conducto, presentan un borde acidófilo teñido por la concentración de tonofilamentos.

Estos conductos continúan por un trayecto helicoidal y en el punto en el que se une a la epidermis pierden su pared propia para transformarse en un conducto especializado que atraviesa el epitelio. Cuando la secreción pasa a través del conducto, la mayor parte de iones de potasio, sodio y cloro, se reabsorben por las células del conducto conforme la secreción pasa por su luz.

Glándulas sudoríparas apocrinas se localizan en la axila, areola del pezón, monte de venus y región anal; están ubicadas en la dermis profunda y en la hipodermis, comparadas con las glándulas sudoríparas ecrinas son de mayor tamaño hasta medir 3 nanómetros de diámetro. Sus conductos se abren en los conductos de los folículos pilosos, están cubiertos por células cúbicas o escamosas. <sup>47</sup>

## **Impedancia de la piel**

Los métodos para la medición de impedancia eléctrica en tejido biológico han sido investigados por muchos años en las áreas médicas y en la biología por científicos como Jossinet, 1988, Geddes en 1900, Gabriel en 1996; Salazar en 2004 Gonzales en 2006, Moncada en 2008. Mostrando el interés en el área, se crea un comité internacional para la promoción de la investigación de bioimpedancia (ICPRBI), el cual impulsó la realización de once conferencias internacional sobre bioimpedancia eléctrica entre 1969 (New York) y 2001 en Oslo. En Colombia en el 2014 la universidad de Caldas reunió expertos internacionales para hablar sobre la temática.<sup>60</sup>

Entre las ventajas de la aplicación del método de medición de propiedades eléctricas, se encuentra que este es de bajo costo, es no invasivo y rápido, y puede ser utilizado en muchas partes del cuerpo. Recientes investigaciones con el método de espectroscopia de impedancia han demostrado tanta precisión, como los métodos de medición tradicional. Estos métodos proporcionan información sobre las características de bioimpedancia y sus cambios ante patologías o eventos fisiológicos, sin dañar los tejidos. Recientes estudios han logrado desarrollar diferentes métodos de medición y mejorar los electrodos y sus características. También ha mejorado la técnica de preparación del paciente y desarrollo de modelos matemáticos y computacionales para la estimación de las variables.

La actividad eléctrica de la piel recibe varios nombres respuesta electrodermal (EDR), actividad eléctrica de la piel (EDA), nivel electrodermal (EDL) respuesta galvánica de la piel (GRS). En este estudio nos referiremos preferencialmente con el término respuesta galvánica de la piel (GRS).

Los cambios en la actividad eléctrica de la piel en área palmar y plantar fueron utilizados ampliamente a principios del siglo XX en estudios psicológicos y fueron considerados en sus orígenes como registro un psicofisiológico.

## **Sistema nervioso autónomo y la impedancia de la piel:**

El Sistema Nervioso Autónomo (SNA), responsable de la homeostasis reactiva en los organismos, permite al individuo generar la capacidad de adaptación y respuesta a agentes estresantes y lesivos. Ante estímulos estresantes el sistema nervioso autónomo produce cambios fisiológicos que incluyen un aumento de la conductancia de la piel, taquicardia, aumento de la frecuencia respiratoria, vasoconstricción periférica y vasodilatación a nivel central. Las glándulas sudoríparas presentes en las superficies de las palmas de las manos o sobre la base de los pies son inervadas por ramas simpáticas del sistema nervioso central, actuando como resistencias variables según su estado de llenado con fluidos.<sup>97</sup>

Los organismos biológicos y sus componentes, tejidos y células poseen propiedades eléctricas, la impedancia es una de ellas, al existir cambios en los estados de los organismos en su estructura, metabolismo y composición esta propiedad se modifica. Este fenómeno es utilizado por las ciencias biomédicas para generar investigaciones sobre la fisiología de los organismos vivos y su respuesta a las transformaciones propias y producto del medio externo.

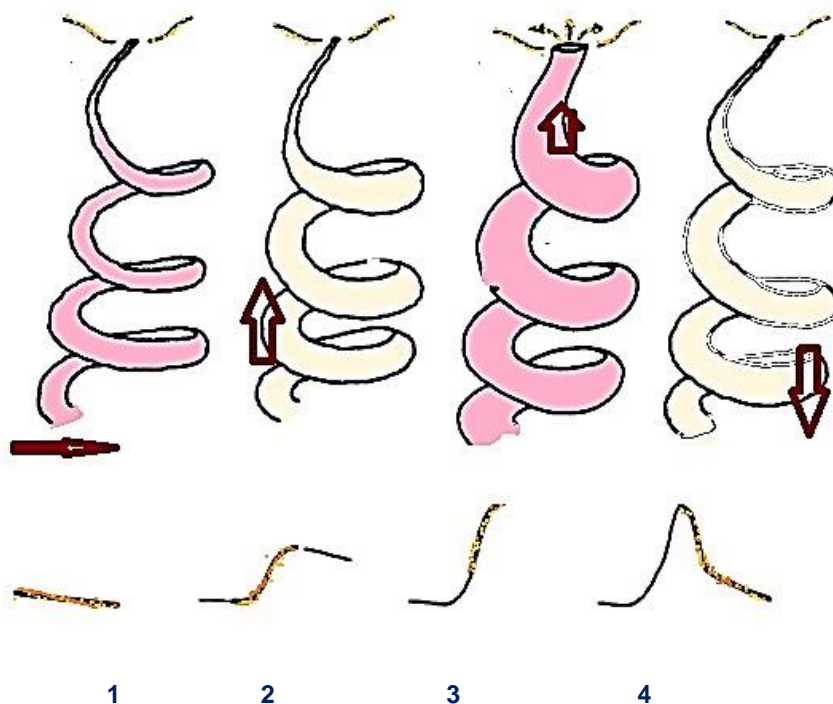
El control de las glándulas sudoríparas es atribuido a áreas hipotalámicas, especialmente al área paraventricular y al núcleo posterior. Otras áreas corticales y regiones subcorticales, son conocidas por estar involucradas en su modulación y activación.

Las fibras sudomotoras descienden a través de la vía simpática hipotalámica retículo-espinal, en proximidad de otras fibras simpáticas como fibras eferentes vasoconstrictoras, terminando en neuronas sudomotoras preganglionares. Las neuronas preganglionares salen de la médula espinal ipsilateral, a través de la vía del asta lateral que conduce al tronco simpático, donde se conectan a las neuronas postganglionares. La transmisión simpática es usualmente adrenérgica, la transmisión sudomotoras posganglionar es colinérgica.

El segmento secretor de las glándulas sudoríparas está localizado sobre el tejido subcutáneo. El sudor se descarga en el conducto sudoríparo que sigue su trayecto a través de la dermis y la epidermis y termina en un poro en la superficie de la piel. La densidad de la glándula ecrina varía sobre la piel humana, es más alta en la planta y

dorso del pie, en la palma de la mano, mejilla frente y antebrazo (200-600 por  $\text{cm}^2$ ). Las fibras sudomotoras son fibras lentas cuya conducción se encuentra en velocidades aproximadas de 0.5 a 2 m/s.<sup>39</sup> Cada glándula esta inervada por muchas fibras y cada unidad sudomotoras inerva a la piel en un área cerca de  $1.28 \text{ cm}^2$ . Cada glándula se diferencia marcadamente en su actividad y parecen poseer diferentes umbrales de activación.

En estudios de microneurografía se encontró que la amplitud de respuesta de la conductancia en piel se relaciona linealmente con la amplitud de la actividad de la unidad sudomotoras que refleja la frecuencia de descarga de potenciales de acción. Por otra parte, la amplitud GRS ha demostrado estar relacionado con el número de glándulas sudoríparas reclutadas. La actividad sudomotoras se sabe es influenciada por la respiración y el ciclo cardíaco.<sup>12</sup>



**Gráfica 8** Conducto sudoríparo y aparición de las ondas de la conductancia.

El dibujo muestra la forma en la cual el conducto sudoríparo a través del cambio en su presión produce una onda variable de impedancia de piel. En las dos primeras graficas se observa cómo se inicia la fase de latencia de la onda. La figura tres y cuatro muestran el pico de la onda producto de un aumento de la presión en el ducto que supera la presión de la piel, por lo cual se produce una apertura del conducto y del poro. (Adaptada de Decomposition of skin conductance data by means of nonnegative deconvolution)<sup>11</sup>

## Principios físicos de la conductancia

En los sistemas simples con utilización de corriente directa y un conductor homogéneo, la oposición a la corriente proporcionada por el circuito es la resistencia, la cual es constante debido a la estructura y composición del material del circuito que interfiere con el flujo del electrón.

La ley de Ohm expresa en los sistemas la relación entre la corriente, el voltaje y la resistencia.

$$V = I / R$$

Dónde:

V: voltaje

I: corriente

R: resistencia

La impedancia, en términos generales es representada con la letra Z. Teniendo en cuenta que la resistencia en un circuito de corriente directa, tiene una fuente positiva y negativa, si a esta fuente se le conecta una resistencia tendríamos un voltaje en corriente directa junto con una resistencia. Esta resistencia provoca una corriente, creando una relación donde la corriente es igual al voltaje sobre la resistencia  $I = V/R$ .

En dicha fórmula encontraremos que la resistencia es una oposición al flujo de corriente eléctrica esto en corriente directa o alterna.

En corriente alterna se tiene un circuito con un voltaje dado, en el cual se representa la impedancia como una oposición al flujo de dicha corriente. Al adecuarlo a la ley de Ohm para corriente alterna tendríamos:  $Z = V/I$

La impedancia posee dos componentes, la resistencia, que es un componente real, y la reactancia que es un componente imaginario. La reactancia se define operacionalmente como la oposición a la corriente debido a la contribución de ambas la capacitancia y la inductancia, que no son constantes, pero cambian acorde a la

Evaluación de dolor inducido mediante estímulo mecánico controlado en individuos sanos mediante escala análogo visual versus respuesta galvánica de la piel.  
frecuencia electromagnética y a las propiedades de los circuitos. La capacitancia es la habilidad de un material para acumular carga, y la inductancia es la creación de una diferencia del voltaje por los cambios al paso de la corriente.

La complejidad y naturaleza variable de la capacitancia y la inductancia en los sistemas biológicos contribuye significativamente a los aspectos únicos de los perfiles de la impedancia de cada célula y tejido. Esto es lo que confiere utilidad a la medición de la impedancia como una herramienta para sondear las propiedades de las células y los tejidos.<sup>11</sup>

## **Métodos de cuantificación de la respuesta galvánica de la piel. (GRS)**

La respuesta de la conductancia en piel (GRS), surge dentro de una ventana de tiempo predefinida: entre 1 y 5 segundos después del estímulo. También cumple con un criterio de amplitud mínima: entre 0,01 a 0,05 microsiemens; dentro de este rango de amplitud aparecen las ondas provocadas por los estímulos.

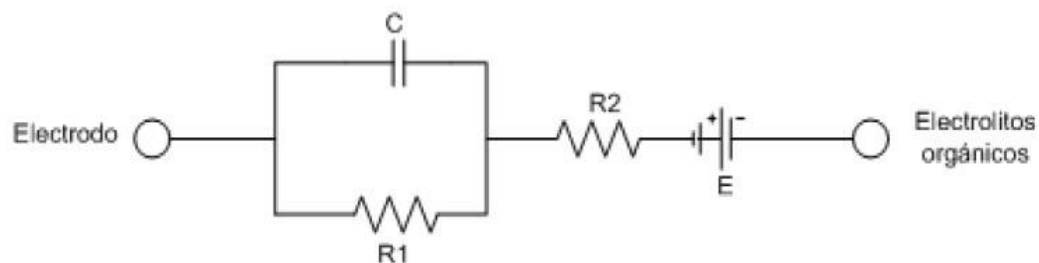
La impedancia tiene un comportamiento tónico con variaciones fásicas. La actividad tónica es calculada promediando la amplitud de la GRS desde el punto mínimo del registro y en el tiempo transcurrido hasta la mitad del recorrido de la onda de registro. Los datos mínimos y máximos de la conductancia en piel se ven entre el inicio del registro y el pico de la onda. La latencia es definida como el tiempo transcurrido entre el inicio del estímulo hasta el inicio de la respuesta de variación de la conductancia de la piel. La frecuencia de variación de la GRS, es decir el número de fluctuaciones por el tiempo de registro, también puede ser asumidos para reflejar la actividad electrodérmica.

La clasificación de los parámetros fásicos de la respuesta de la conductancia de la piel es compleja; debido a la estrecha proximidad temporal que existe entre las ondas, la distancia entre ellas puede ser distorsionada por el recorrido y la pendiente de la onda que le precede. El grado de distorsión depende de la amplitud y la proximidad de la variación de la GRS que le antecede. Si la pendiente de recuperación no puede extenderse y se resta la latencia del pico, la amplitud de la siguiente GRS generalmente puede ser subestimada o hacer que parezcan como una sola. Ello es común cuando se genera un estímulo seguido de otro con intervalos cortos de aplicación.<sup>12</sup>

### Uso de electrodos para la medición de la GRS:

Los electrodos son los elementos de captación y conducción de la corriente eléctrica desde el tejido biológico hacia el equipo de registro. Entre sus características principales se deben tener muy baja impedancia de entrada para reducir las tensiones o ruidos inducidos. Los electrodos más usados para la medición de fenómenos bioeléctricos son de tres tipos: a) micro-electrodos, utilizados para medir potenciales bioeléctricos cerca o dentro de una célula; b) electrodos superficiales, utilizados para medir potenciales en la superficie de la piel, usados en electrocardiograma (ECG), electroencefalograma (EEG) y Electromiografía (EMG) y c) electrodos de aguja, estos atraviesan la piel para el registro de potencial y son usados para mediciones EEG o musculares específicas.<sup>(2)</sup>

En las mediciones bioeléctricas el potencial del electrodo se produce entre la interface del metal y un electrolito. La doble capa de interface actúa como condensador, la siguiente figura muestra el circuito equivalente del electrodo para biopotenciales en contacto con el cuerpo (voltaje en serie con una red de resistencias y condensador) descrita por Geddes. Dado que las medidas de los potenciales bioeléctricos requieren dos electrodos, la tensión medida es en realidad la diferencia entre los potenciales instantáneos de ambos puntos.



**Gráfica 9** Circuito equivalente del electrodo para biopotenciales en contacto con el cuerpo (voltaje en serie con una red de resistencias y condensador).<sup>60</sup>

---

Existen tres métodos tradicionales utilizados para la medir la impedancia eléctrica de tejidos biológicos con bajas frecuencias:

Método de contacto:

- La aplicación de una tensión conocida y la posterior medida de la corriente que se establece en la muestra.
- La inyección de una corriente conocida y la posterior medida de la caída de potencial que se produce entre dos puntos escogidos.
- La medida de ambas magnitudes físicas.

Método sin contacto: basado en inducción magnética donde se mide la corriente circulante en los materiales conductores cuando son sometidos a un campo magnético o eléctrico.

Método híbrido: en este método las corrientes son inducidas dentro del cuerpo por una o más bobinas circundantes y los electrodos superficiales son usados para la medición del potencial.

En el método de contacto tanto la entrada como la salida de señales se realizan a través de electrodos que se encuentran en contacto físico. Los sistemas de medida pueden estar diseñados para trabajar con 2 o más electrodos. La técnica más comúnmente utilizada es la inyección de una corriente conocida y la posterior medida de la caída de potencial que se produce entre dos puntos escogidos.

En el método de 2 electrodos también llamado bipolar, se hace circular una corriente constante ( $I$ ) a través de dos los electrodos, con impedancia  $Z$  (mayor que la impedancia a medir) y se obtiene el voltaje  $V$ , como función de la impedancia entre los electrodos, asociada a los cambios fisiológicos. También se puede utilizar el método de 4 electrodos o tetrapolar y el método de tres electrodos.<sup>60</sup>

La anterior revisión de las propiedades eléctricas de los tejidos biológicos permite una aproximación a los tópicos incluidos en esta investigación, las características de la técnica y la medición. Su importancia radica en las recomendaciones que se tuvieron en cuenta al momento de realizar la fase experimental de este estudio.

### 3. JUSTIFICACIÓN

El dolor es una de las respuestas fisiológicas adaptativas, fundamentales para la vida. Para el manejo del dolor es de vital importancia su adecuada valoración. Esto debe ser un aporte en el manejo clínico de personas con padecimientos dolorosos, favoreciendo la seguridad dentro de su rol social.

Un inadecuado manejo del dolor conlleva a respuestas fisiológicas desadaptativas o mal adaptativas. Su cuantificación tanto en la clínica como en la investigación básica ha sido un gran reto para los profesionales del área de la salud. Se ha hecho uso de aproximaciones valorativas del dolor, desde las escalas analógicas visuales en las cuales el individuo califica subjetivamente su sensación dolorosa, hasta las aproximaciones objetivas con medición de las respuestas fisiológicas indirectas asociadas a él. Las variaciones de la frecuencia cardíaca o respiratoria, los eventos vasomotores periféricos y de piel, cambios en la impedancia dérmica, han sido herramientas aproximativas a este complejo fenómeno. La medición del dolor con técnicas objetivas hace parte de las nuevas investigaciones de corte científico que deben ser intensificadas. El presente trabajo compara estas aproximaciones subjetivas y objetivas al dolor, como un aporte de la investigación en fisiología a las mediciones utilizables en la clínica para la medición de este bien llamado quinto signo vital.

La objetivización del dolor es uno de los mayores retos junto con la búsqueda y la identificación del dolor percibido por el paciente, los principios éticos de beneficencia y no maleficencia justicia y compasión, el respeto por la dignidad humana; guían a los profesionales del área de la salud para brindar confort y cuidados a los pacientes con dolor, incluyendo a quienes por su estado de salud y de conciencia y condición clínica no lo puedan reportar.

En la literatura actual no hay precisión sobre el número de publicaciones y estudios científicos sobre el dolor. En una búsqueda simple en la red en el presente año, en buscadores científicos como PubMed se encontraron 652.251 publicaciones sobre dolor. Al verificar el número de publicaciones científicas sobre el dolor y las escalas análogas visuales surge un dato de 24.331. Al indagar las publicaciones que correlacionaran dolor con la impedancia en la piel el resultado se redujo a 70.

La impedancia de la piel y los cambios que esta variable fisiológica presenta ante el dolor, ha sido referenciada por autores como Loggia, Storm, Ledowski. Estos autores recomiendan en sus trabajos y debido a la variabilidad de la impedancia de la piel, continuar con investigaciones que permitan establecer la estandarización de su medición. Igualmente sugieren el análisis de grupos demográficos diferentes, si esta valoración se pretende usar como parámetro para la interpretación del dolor.

Corresponde a grupos interdisciplinarios que interactúan con el dolor la investigación clínica que mejore las prácticas de medición del dolor en pro de desarrollar estudios e investigaciones que permitan realizar una intervención oportuna, una interpretación del dolor que permita su valoración y medición en toda la población en general incluyendo personas con discapacidad cognoscitiva o motora que no pueden expresar de forma verbal su padecer.

## 4. PROBLEMA

En el personal del área de salud recae la responsabilidad de disminuir y evitar el sufrimiento de los individuos por presencia de dolor. Actualmente este tipo de medición es predominantemente de carácter subjetivo y observacional. Por ello sería de gran utilidad una verificación y una medición adecuada del mismo, con la utilización de parámetros fisiológicos objetivos y contrastables.

Esta investigación aproxima una correlación entre escalas subjetivas y registros objetivos para la medición del dolor, proponiendo una herramienta que bien podría ser aplicada en los individuos con dolor y en su seguimiento clínico.

El reconocimiento de los niveles de correlación entre la interpretación subjetiva del fenómeno doloroso y el registro fisiológico de parámetros vinculados a la respuesta autonómica ante el estímulo doloroso, como los cambios en la impedancia de la piel, constituye el propósito central del presente trabajo.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

- Comparar la escala visual analógica para medición de dolor con la medición objetiva de los cambios de impedancia en piel, ante al dolor inducido por un estímulo mecánico en individuos sanos.

### **5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Evaluar los cambios en la respuesta galvánica de la piel, frente a dolor mecánico inducido en individuos sanos.
- Correlacionar los resultados de la escala analógica subjetiva con una escala objetiva basada en parámetros autonómicos.
- Evaluar los cambios en la respuesta autonómica (frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, respuesta galvánica en piel), frente a dolor mecánico inducido en individuos sanos.

## **6.PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Existe una correlación en los cambios en la impedancia de la piel de voluntarios sanos, expuestos a un estímulo doloroso inducido mecánicamente y la escala análoga visual para la medición del dolor?

## 7.MATERIALES Y METODOS

### 7.1Diseño del estudio

Se realizó un estudio observacional de tipo cuasi experimental. Los sujetos de estudio fueron 18 voluntarios sanos de ambos sexos a quienes se les aplicó el estímulo mecánico doloroso constante durante 10 minutos, con medición simultanea de la impedancia de la piel, la frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria y la calificación subjetiva minuto a minuto del dolor, mediante la escala análoga visual.

### 7.2 Variables registradas:

Se tuvieron en cuenta las variables caracterizadas en la tabla 2.

NOMBRE	TIPO	NATURALEZA	METODO REGISTRO	UNIDAD DE MEDIDA
Impedancia en piel.	Cuantitativa	Continua	Registro GRS	(uS) microsiemens
Frecuencia cardiaca	Cuantitativa	Continua	Registro FC	Latido/min
Frecuencia respiratoria	Cuantitativa	Continua	Registro FR	Ciclos/min
Escala análoga visual	Cuantitativa	Nominal	Escala visual de 1-10	Número 1-10

**Tabla 4** Variables de medición

### **7.3 Población Muestra y Tamaño muestral**

La población fue extraída a partir de voluntarios sanos de ambos sexos que cumplieron los criterios de inclusión establecidos para el estudio. La población de estudio fue un grupo de adultos sanos con edades que oscilan entre 18 y 25 años.

El tamaño de muestra fue 18 personas, seleccionado por convocatoria pública; el tamaño muestral se decidió por conveniencia. Es importante resaltar que estudios similares sobre medición de dolor utilizan entre 6 y 45 individuos. Con el tamaño muestral y conociendo que cada sujeto aporta los datos de las mediciones de manera simultánea para realizar el grado de correlación, el número de sujetos es adecuado para aceptar o rechazar la hipótesis nula sin tener error tipo II en el diseño experimental.

#### **Criterios de Inclusión:**

- Voluntarios quienes firmaron el consentimiento informado para la participación en el protocolo.
- Edad cronológica entre 18 y 25 años.
- Sujetos reconocidos sanos, mediante anamnesis e historia clínica.

#### **Criterios de exclusión:**

- Presencia de alteraciones o déficit neurológico
- Alergia o sustancias o componentes utilizados para desinfección de la piel.
- Alteraciones cutáneas de miembros superiores o inferiores.
- Adultos mayores de 25 años.
- Personas menores de 18 años.
- Personas con marcapasos.
- Personas con uso de relajantes musculares.
- Personas con consumo diario de analgésicos.
- Incapacidad para seguir las instrucciones para la ejecución de las pruebas.

## **7.4 Desarrollo del estudio**

### **Aspectos éticos**

Se obtuvo consentimiento informado por escrito de cada uno de los participantes. Los registros se realizaron entre marzo y abril del año 2016, en estudiantes de medicina de la ciudad de Bogotá y el estudio recibió aprobación del comité de ética de la facultad de medicina de la Universidad Nacional de Colombia.

## **7.5 Protocolo de medición**

En la Algesimetría experimental la percepción del dolor se mide después de inducirlo experimentalmente. El dolor es un proceso psicofisiológico muy complejo que se percibe como consecuencia del procesamiento en el sistema nervioso central (SNC). Este procesamiento produce varios tipos de respuestas que pueden ser medidas, mientras que las percepciones del dolor y las reacciones afectivas pueden ser comunicadas directamente. Hay numerosos métodos de estimulación para producir dolor experimentalmente en humanos. Beecher y sus colaboradores (1966) introdujeron el método del torniquete, para producir dolor muscular fuerte <sup>36</sup>. Cuando se interrumpe la perfusión de un tejido, éste se torna muy doloroso en pocos minutos. Cuanto mayor es la tasa metabólica de los tejidos, más tempranamente aparece el dolor.

### **TECNICA APLICACIÓN ESTIMULO DOLOROSO**

En los sujetos de estudio se aplicó el siguiente protocolo de estimulación dolorosa:

Se realizó la compresión de la circulación utilizando el brazalete de un tensiómetro, insuflado 50 mm de Hg por encima de la presión arterial sistólica de cada sujeto. Se mantuvo dicha compresión durante 10 minutos al cabo de los cuales se retiró el brazalete.

## PROCEDIMIENTO

- Se verificó la tensión arterial del sujeto. Para el registro se insufló el brazalete hasta llegar a una presión equivalente a la presión sistólica del sujeto, más un excedente de 50 mmHg.
- Cada 60 segundos durante el procedimiento, el sujeto calificó la intensidad de su dolor utilizando la escala análoga visual.
- Después de completar 10 min o antes si el sujeto lo solicitaba por su nivel de dolor se desinsufló lentamente el brazalete.

## MEDICIÓN DE LA CONDUCTANCIA DE LA PIEL, FRECUENCIA CARDIACA Y FRECUENCIA RESPIRATORIA:

### MATERIALES

- Hardware powerLab ML846 4/26 con sistema de adquisición de datos de cuatro canales con cuatro entradas BNC, disparador y estimulador de bajo voltaje.
- Transductor de banda respiratoria, con dispositivo piezoeléctrico que sensible a los cambios de longitud. Medidor de cambios en la circunferencia torácica o abdominal durante la respiración.
- MLA700 : conjunto de tres electrodos reutilizables de sujeción con cables de plomo o MLA0313 y MLA0315 y cables conductores. Los electrodos tienen una superficie de 24 cm<sup>2</sup> para ser colocados sobre las muñecas o los tobillos.
- Electrodos de dedos bipolares para medir la respuesta galvánica de la piel.
- Amplificador de respuesta galvánica de la piel con respuesta a baja tensión, 75 Hz de excitación de CA y puesta a cero automática.

## PROCEDIMIENTO

- Se explicó al sujeto cada procedimiento y se resolvieron las dudas.
- Se solicitó al sujeto el retiro de joyas, relojes, celulares, imanes y prendas con elementos metálicos que pudieran interferir la señal.
- Se procedió al lavado y secado completo de manos.
- Con el sujeto cómodamente acostado en la camilla en posición supina se procedió a la aplicación con gel isotónico, en área de medición.
- Se realizó verificación de las conexiones del sistema de adaptadores al hardware, conexiones eléctricas y las posibles interferencias de cableado.
- Se colocaron los electrodos en la mano izquierda así: Eminencia hipotenar R1, eminencia hipertelar R2 y dedo índice R3.
- Se colocó banda o cinta respiratoria.
- Se colocaron electrodos para toma de ritmo cardiaco, en muñeca derecha, miembro inferior derecho e izquierdo, teniendo en cuenta la utilización del electrodo de tierra.





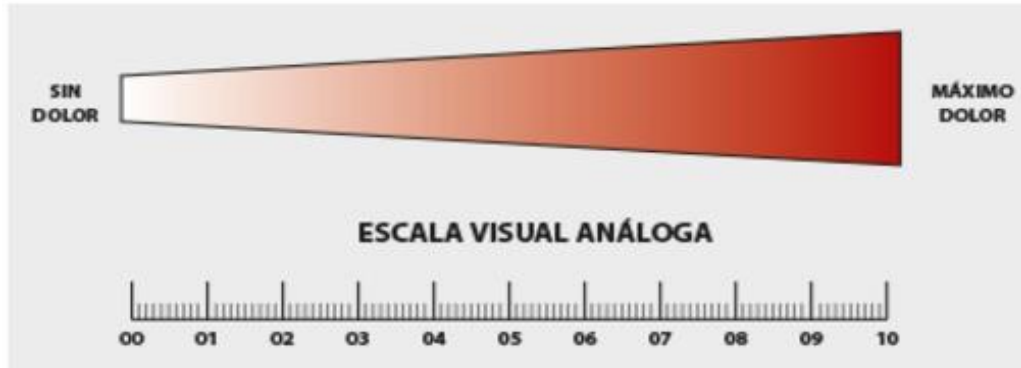
**Gráfica 10** Transductores utilizados en el protocolo



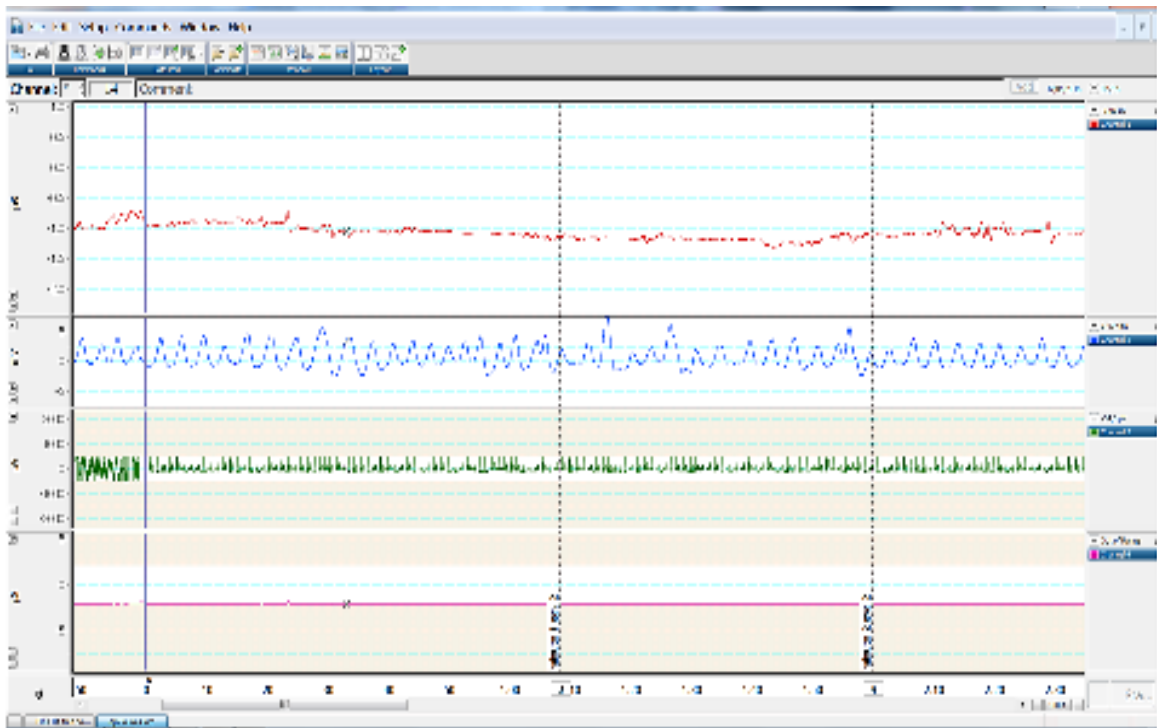
**Gráfica 11** Amplificador GRS y conversor análogo digital de registro.

- Se definió la línea basal del registro, (ZERO digital del equipo).
- Se llevó a cabo registro por un minuto sin estímulo, obteniendo la línea de base.
- Se inicia la aplicación del estímulo doloroso.
- Se registran en paralelo en los canales 1, 2 y 3, la GRS, la frecuencia respiratoria y la frecuencia cardíaca respectivamente.
- Cada minuto durante el tiempo de estimulación se pidió a cada uno de los sujetos calificar la percepción de dolor en la escala análoga visual (EVA). Gráfica 12
- Durante todo el procedimiento se impidió al sujeto el acceso visual a la pantalla de registro.

Evaluación de dolor inducido mediante estímulo mecánico controlado en individuos sanos mediante escala análogo visual versus respuesta galvánica de la piel.



Gráfica 12 Escala de dolor



Gráfica 13 Ejemplo del tipo de registro realizado.

**Manejo los datos**

Los datos se incluyeron en una base de datos por duplicado y se organizaron en el programa Microsoft Excel 2010.

**Análisis estadístico**

Para el análisis de los resultados se empleó el programa estadístico SPSS, y un análisis de correlación de Pearson.

## **8.RESULTADOS**

### **Población:**

La distribución muestral por genero correspondió a un 55.5% de hombres (cantidad 10) en contraste con 44.5% mujeres (cantidad 8). La edad representativa de la muestra fue de 19 años, seguida por los 18 y 25 años de edad. Se tuvieron en cuenta los Criterios de exclusión. Previa valoración por historia clínica, se determinó que todo el grupo era apto para participar en el estudio.

### **8.1 Resultados de la evaluación mediante la escala visual análoga (EVA).**

Estos resultados muestran que al mantener el estímulo en el tiempo, el reporte subjetivo por la escala visual análoga (EVA) indica un incremento gradual de la percepción de dolor, que se reconoce uniforme y con una tendencia continua en todos los individuos. (Tabla 4, grafica 14 y 15)

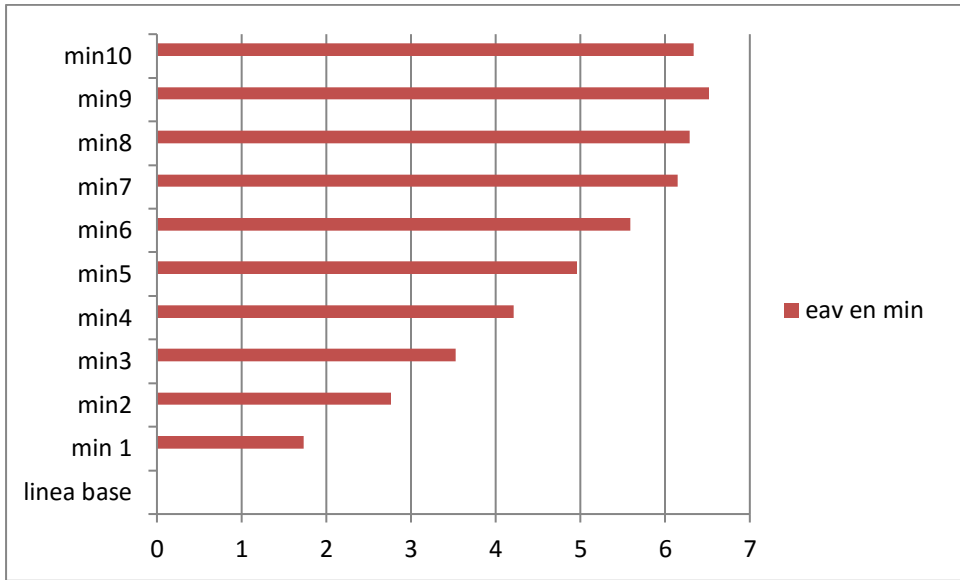
**Tabla 5. Escala Análogo visual intrasujeto e intersujeto.**

Eav	línea base	min 1	min2	min3	min4	min5	min6	min7	min8	min9	min10
Vol 1	0	2	2	4	4	4	4	3	3	3	nr
Vol 2	0	3	4	4	6	9	9	9	9	9	10
Vol 3	0	1	1	2	2	2	2,5	2,5	3	3	4
Vol 4	0	2	3	4	5	5	5	6	7	9	8
Vol 5	0	1	2	4	5	7	8	8	9	9	8
Vol 6	0	1	1	1,5	2	2,5	2,5	3	4	4	4,5
Vol 7	0	1	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3
Vol 8	0	2	3	3	4	4	6	7	8	8	9
Vol 9	0	2	2,5	3	4	5	5,5	6	6	6	6,5
Vol 10	0	3	5	6	7	8	9	10	10	8	8
Vol 11	0	3	5	6	6	7	8	9	10	10	8
Vol 12	0	2	3	5	5	7	9	10	nr	nr	nr
Vol 13	0	0	3	3	4	5	6	7	7	8	9
Vol 14	0	1,3	1,7	1,7	2,5	3	3,5	3,7	4	4,2	4,2
Vol 15	0	2	2,5	3	3,3	3,3	3,5	4	4	4,2	1,2
Vol 16	0	1	2	2,5	3	4	4,2	5	5,5	6	6,5
Vol 17	0	1	4	5	5,5	6	6,5	7,5	7,5	8	8
Vol 18	0	3	3	4	5	5	6	7	7	8	8
<b>Promedio</b>	<b>0</b>	<b>1,7</b>	<b>2,8</b>	<b>3,5</b>	<b>4,2</b>	<b>5</b>	<b>5,6</b>	<b>6,2</b>	<b>6,3</b>	<b>6,5</b>	<b>6,6</b>
<b>SD</b>	<b>0</b>	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>2</b>	<b>2,2</b>	<b>2,5</b>	<b>2,4</b>	<b>2,3</b>	<b>2,4</b>

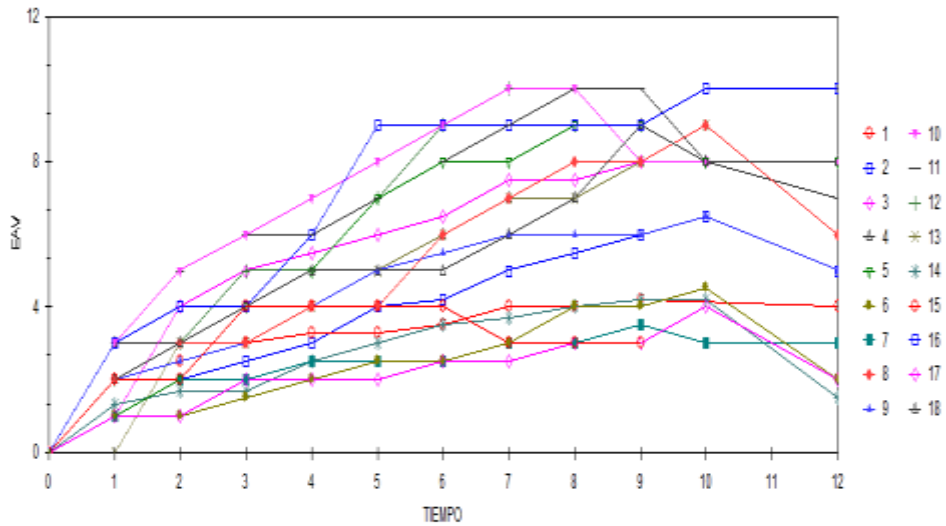
En el cálculo de la media de los datos en cada minuto de todos los individuos, se encuentra que entre el minuto 0 y el minuto 3 los individuos reportaron en la escala análogo visual (EVA) entre 2.5 y 3.7, promedio 3.15 (dolor leve). A partir del minuto 5 el promedio se eleva a 5.2 con rango de datos entre 4.9 a 5.5 (dolor moderado). En los minutos 7, 8 y 9 el ascenso continuó en progreso con un promedio alrededor de 6.5. (Dolor moderado severo).

El estímulo fue suspendido al final del minuto 10 o cuando el reporte del individuo estuviera próximo a dolor severo (9 o10) o la suspensión era solicitada de forma directa. Esto último ocurrió en uno solo de los voluntarios (numero 12), quien en el minuto 6 solicito suspender la prueba (nr: no registro). Después del minuto 10 se suspende el estímulo, reportada la escala EVA. Por esto último los datos del minuto 11 no fueron tomados en cuenta para los promedios y los análisis, sirviendo solo como referente para reconocer la adecuación de la metodología. (grafica 15)

Evaluación de dolor inducido mediante estímulo mecánico controlado en individuos sanos mediante escala análogo visual versus respuesta galvánica de la piel.



**Gráfica 14** Comportamiento del promedio de la valoración de la EVA en los diferentes tiempos para los 18 voluntarios participantes.



**Gráfica 15** Comportamiento de la escala análogo visual de los 18 voluntarios participantes

En la figura 15 es observable una importante variabilidad intersujetos.

## 8.2 Resultados de las variaciones de la frecuencia cardiaca y de la frecuencia respiratoria.

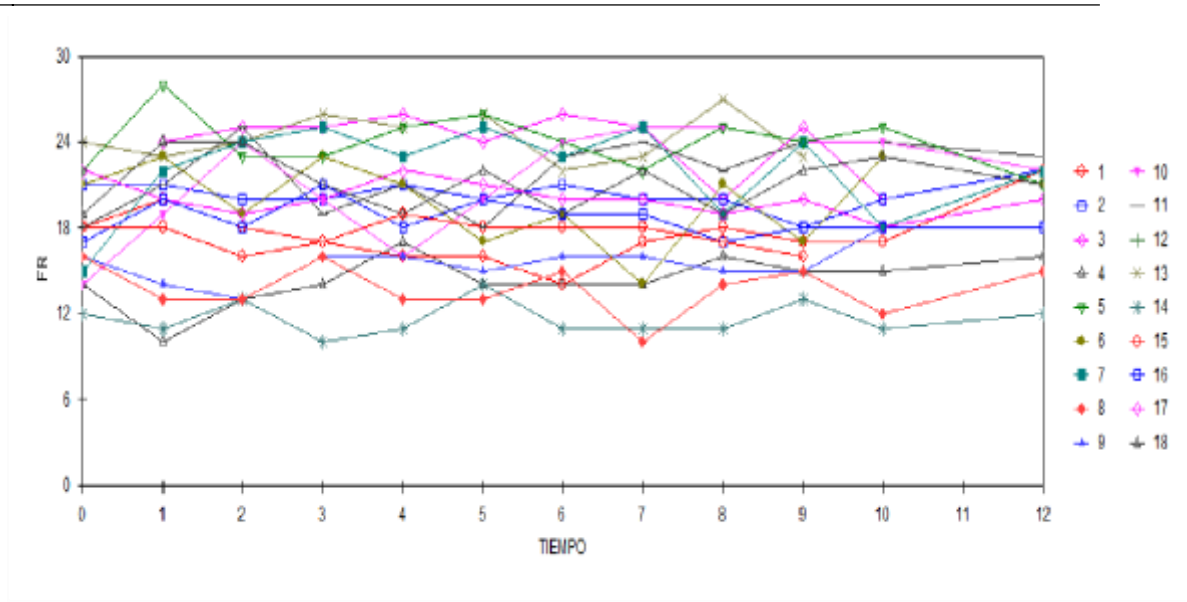
### Cambios en la Frecuencia Cardiaca

Los valores de las frecuencias cardiacas de los 18 individuos participantes, presentaron amplias variaciones, sin un patrón claro que se pueda reconocer como una tendencia común y sin una constancia en el tiempo que permita su asociación con el estímulo.

**Tabla 6 Resultados de Frecuencia cardiaca durante la aplicación del estímulo.**

Vol \ FC	Línea Base	Min 1	Min2	Min3	Min4	Min5	Min6	Min7	Min8	Min9	Min10
Vol 1	52	56	62	61	59	57	55	59	62	58	Nr
Vol 2	72	72	74	73	74	73	75	75	71	65	66
Vol 3	78	79	76	76	76	83	77	78	83	82	81
Vol 4	86	80	84	86	79	84	78	84	80	92	82
Vol 5	84	95	80	77	80	81	85	82	82	91	84
Vol 6	68	80	74	75	68	71	67	66	67	68	68
Vol 7	56	60	66	66	60	64	66	64	64	80	78
Vol 8	75	73	73	74	79	75	80	90	79	75	74
Vol 9	56	62	62	60	62	63	61	60	60	62	59
Vol 10	71	70	72	74	78	77	83	70	75	74	74
Vol 11	59	75	72	52	73	80	84	82	72	75	74
Vol 12	52	66	75	79	78	80	84	84	Nr	Nr	Nr
Vol 13	78	80	80	83	79	79	82	81	87	85	Nr
Vol 14	54	52	52	51	53	58	52	55	49	52	56
Vol 15	82	100	96	99	96	98	95	96	100	96	95
Vol 16	75	75	72	79	72	72	76	71	75	71	71
Vol 17	66	72	74	85	79	80	79	82	82	78	Nr
Vol 18	65	62	74	76	86	70	72	69	85	75	65
<b>Promedio</b>	<b>68,3</b>	<b>72,7</b>	<b>73,2</b>	<b>73,7</b>	<b>73,9</b>	<b>74,7</b>	<b>75,1</b>	<b>74,9</b>	<b>74,9</b>	<b>75,2</b>	<b>73,4</b>
<b>SD</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>9,1</b>	<b>11,7</b>	<b>10,1</b>	<b>9,8</b>	<b>10,8</b>	<b>11</b>	<b>11,8</b>	<b>11,7</b>	<b>10</b>

Nr: no registro.



**Gráfica 16** Comportamiento de la frecuencia cardíaca de los 18 voluntarios participantes

Se puede resaltar que la frecuencia cardíaca (FC) promedio se incrementó levemente a medida que la exposición al estímulo se mantenía en el tiempo. La FC promedio pasó de 68 latidos por minuto a 72.7 latidos por minuto al minuto uno y permaneció entre 72.7 y 75.2 en promedio durante los 9 minutos post estímulo.

### **Cambios en la Frecuencia Respiratoria**

Los valores de las frecuencias respiratorias (FR) de los 18 individuos participantes, al igual que los valores de FC, presentaron amplias variaciones, sin un patrón claro que se pueda reconocer como una tendencia común y sin una constancia en el tiempo que permita su asociación con el estímulo.

**Tabla 7 Resultados de la frecuencia respiratoria durante la aplicación del estímulo.**

VOL / FR	LINEA BASE	MIN 1	MIN2	MIN3	MIN4	MIN5	MIN6	MIN7	MIN8	MIN9	MIN10
VOL 1	18	18	16	17	19	18	18	18	17	16	NR
VOL 2	17	20	18	21	18	20	19	19	17	18	18
VOL 3	22	20	19	20	22	21	20	20	19	20	18
VOL 4	19	24	24	21	19	22	19	22	19	22	23
VOL 5	22	28	23	23	25	26	24	22	25	24	25
VOL 6	21	23	19	23	21	17	19	14	21	17	23
VOL 7	15	22	24	25	23	25	23	25	19	24	18
VOL 8	16	13	13	16	13	13	15	10	14	15	12
VOL 9	16	14	13	16	16	15	16	16	15	15	18
VOL 10	14	19	24	20	16	20	24	25	25	24	24
VOL 11	18	21	25	19	21	18	23	24	22	24	24
VOL 12	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Vol 13	24	23	24	26	25	26	22	23	27	23	Nr
Vol 14	12	11	13	10	11	14	11	11	11	13	11
Vol 15	18	20	18	17	16	16	14	17	18	17	17
Vol 16	21	21	20	20	21	20	21	20	20	18	20
Vol 17	Nr	24	25	25	26	24	26	25	20	25	20
Vol 18	14	10	13	14	17	14	14	14	16	15	15
<b>Promedio</b>	<b>17,9</b>	<b>19,5</b>	<b>19,5</b>	<b>19,6</b>	<b>19,4</b>	<b>19,4</b>	<b>19,3</b>	<b>19,1</b>	<b>19,1</b>	<b>19,4</b>	<b>19,1</b>
<b>SD</b>	<b>3,3</b>	<b>4,8</b>	<b>4,5</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,7</b>	<b>4</b>	<b>3,9</b>	<b>4,1</b>

En la tabla 7 se observa el registro de las frecuencias respiratorias de los sujetos de estudio. La variación de los datos se encuentra en un rango entre 12 y 30 ciclos respiratorios por minuto; solo un individuo se desvía a una frecuencia cercana a 30 respiraciones por minuto.

El total de los datos se encuentran dentro del rango normal para la edad de los sujetos.

La frecuencia respiratoria en la valoración intrasujeto no muestra variabilidad ni tendencia progresiva regular al aumento.

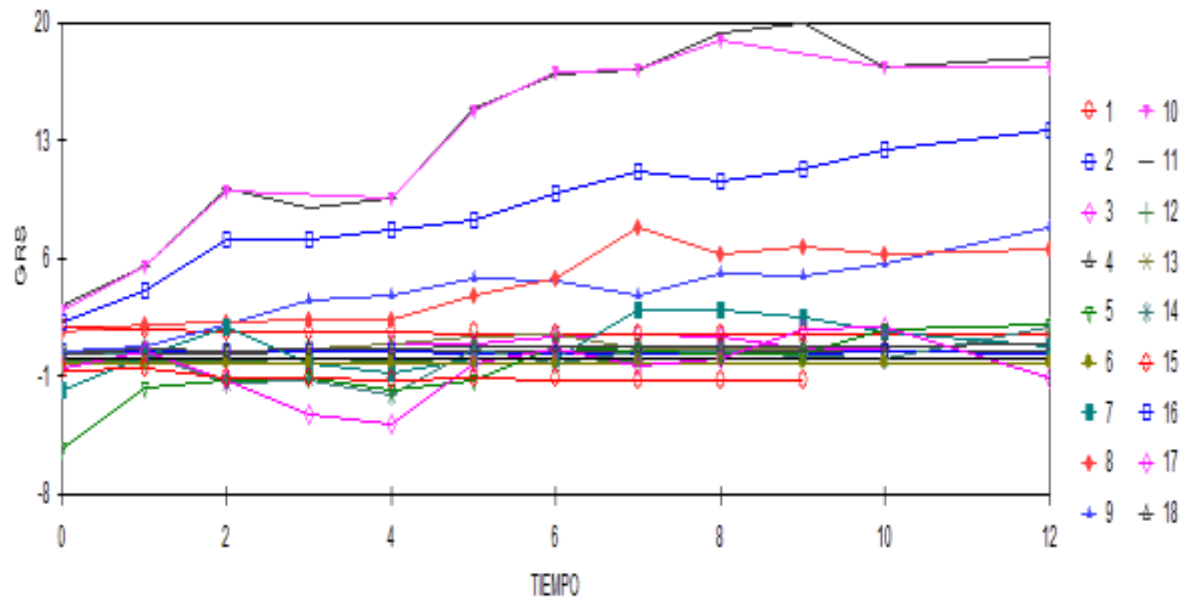
## 8.3 Resultados de las variaciones de la impedancia en piel.

### Cambios en la respuesta galvánica de la piel

Durante el estudio, la impedancia de la piel medida en  $\mu\text{S}$ , se incrementó de manera gradual y continua, con constancia intrasujeto y con una variabilidad media intersujeto. En el transcurso del tiempo a partir de la aplicación del estímulo mecánico, entre los 0 a 10 minutos, se puede reconocer la tendencia al incremento de los valores, aunque en 7 de los 18 sujetos se presentaron tendencias transitorias a disminuir el valor de impedancia. La variabilidad intrasujeto observable en la tabla 7 y en la gráfica 16, permite reconocer una tendencia clara al incremento en 11 de los sujetos a estudio.

**Tabla 8 Resultados de las variaciones de la impedancia en piel.**

$\mu\text{S}$	línea base	min 1	min2	min3	min4	min5	min6	min7	min8	min9	min10
VOL 1	-0,74	-0,56	-1,1	-1,12	-1,2	-1,14	-1,19	-1,24	-1,24	-1,25	nr
VOL 2	2,25	4,04	7,07	7,04	7,68	8,31	9,86	11,09	10,57	11,3	12,4
VOL 3	-0,52	0,41	-1,23	-3,33	-3,9	-0,25	0,55	-0,37	-0,03	1,81	1,92
VOL 4	0,35	0,63	0,52	0,61	0,68	0,72	0,75	0,73	0,7	0,7	0,71
VOL 5	-5,3	-1,73	-1,23	-1,16	-1,83	-1,32	0,83	0,5	0,27	0,31	1,81
VOL 6	-0,24	-0,25	-0,25	-0,27	-0,27	-0,28	-0,24	-0,18	-0,18	-0,21	-0,22
VOL 7	-1,83	0,18	1,86	-0,29	-0,8	-0,01	0,08	2,88	2,86	2,42	1,63
VOL 8	1,6	2,07	2,18	2,32	2,41	3,8	4,8	7,8	6,3	6,69	6,2
VOL 9	0,47	0,7	2,05	3,47	3,85	4,8	4,6	3,8	5,08	4,93	5,66
VOL 10	2,92	5,55	10,04	nr	9,52	14,7	17,04	17,19	18,9	nr	17,33
VOL 11	3,18	5,54	10,15	9,04	9,51	14,9	16,9	17,19	19,32	20	17,33
VOL 12	-0,09	-0,09	-0,14	-0,18	-0,16	-0,26	-0,18	-0,08	nr	nr	nr
VOL 13	0,32	0,59	0,48	0,56	0,89	1,3	1,48	0,59	0,59	0,61	
VOL 14	0,49	0,35	-1,39	-1,19	-2,14	0,63	-0,3	0,53	0,44	0,25	-0,03
VOL 15	1,87	1,73	1,64	1,58	1,61	1,55	1,46	1,48	1,49	1,51	1,47
VOL 16	0,42	0,43	0,42	0,41	0,41	0,36	0,37	0,32	0,33	0,32	0,42
VOL 17	nr	0,55	0,48	0,65	0,96	0,95	1,31	1,44	1,38	0,58	0,63
VOL 18	0,35	0,37	0,37	0,42	0,47	0,45	0,46	0,49	0,49	0,48	0,43
Promedio	0,32	1,14	1,77	1,09	1,54	2,73	3,25	3,56	3,96	3,15	4,51
SD	1,9	1,93	3,49	2,95	3,72	4,83	5,46	5,66	6,22	5,32	5,96



**Gráfica 17** Comportamiento de la Impedancia en piel (Medido en  $\mu\text{S}$ ), de los 18 voluntarios participantes.

## 8.4 Correlaciones de los resultados del estudio (EVA, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y respuesta galvánica de la piel [GRS])

### Valores consolidados para las variables de estudio

En la tabla 9. Se muestra el promedio de los valores para los 18 voluntarios participantes de las variables EVA, Frecuencia respiratoria, Frecuencia cardíaca, y GRS. A partir de estos promedios se desarrollarán análisis de correlación, por medio de análisis de correlación de Pearson.

**Tabla 9 Resultados promedios de los 18 voluntarios para las variables EVA, FC, FR y GRS**

<b>Tiempo Min</b>	<b>EVA</b>	<b>FRECUENCIA RESPIRATORIA</b>	<b>FRECUENCIA CARDIACA</b>	<b>GRS</b>
0	0	17,94	68,12	0,32
1	1,74	19,47	72,88	1,14
2	2,76	19,47	73,17	1,77
3	3,54	19,59	73,44	1,09
4	4,21	19,35	73,61	1,54
5	4,96	19,35	74,56	2,73
6	5,59	19,29	74,78	3,25
7	6,15	19,12	75,28	3,56
8	6,29	19,12	75,35	3,96
9	6,52	19,41	75	3,15
10	6,98	19,07	73,43	4,51

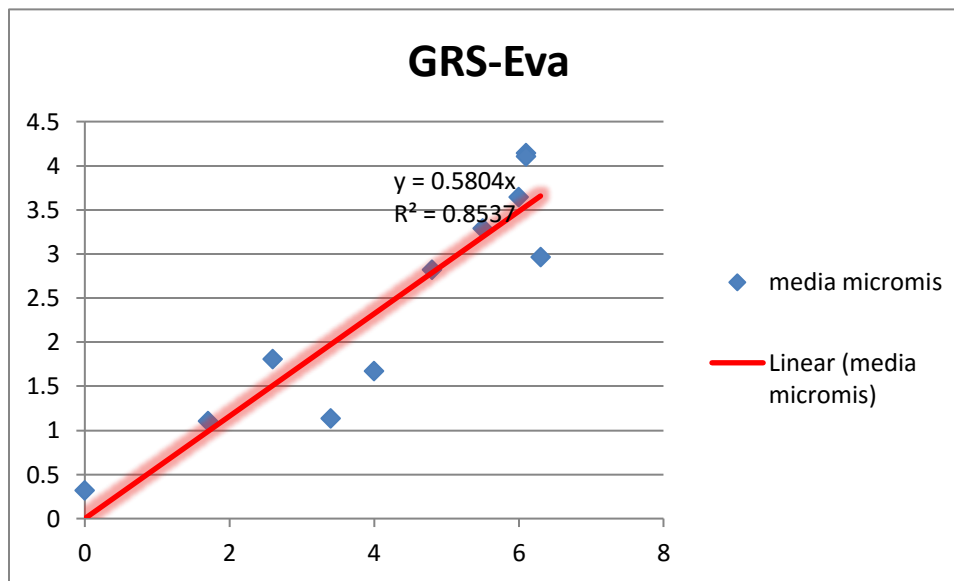
### **Correlación de la escala analógica visual subjetiva frente a variabilidad de la respuesta galvánica de la piel**

En la tabla 10 se consideran solamente los datos promedio de la escala análoga visual EVA correlacionados con los datos de la impedancia en la piel GRS. Se seleccionaron estas dos variables por ser ellas las que mostraron mayor constancia en y regularidad en su variabilidad.

**Tabla 10** Relación entre la impedancia de la piel y escala análogo visual.

Tiempo	EVA	GRS
Min		
0	0	0,32
1	1,74	1,14
2	2,76	1,77
3	3,54	1,09
4	4,21	1,54
5	4,96	2,73
6	5,59	3,25
7	6,15	3,56
8	6,29	3,96
9	6,52	3,15
10	6,98	4,51

En la grafica 18 se correlacionan los datos de la tabla 10, representando una correlación línea con baja dispersión de los datos.



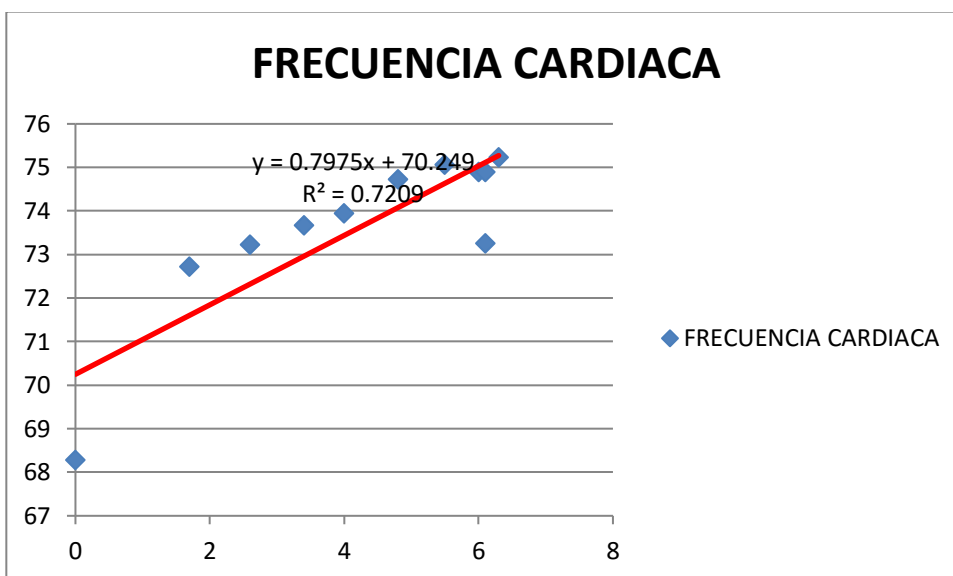
**Gráfica 18** Correlación entre el promedio de la Impedancia en piel de los 18 voluntarios participantes versus datos de la escala análogo visual (EVA).

En el coeficiente de análisis con regresión lineal de la variable escala análogo visual y tomando la GRS promedio de los 18 individuos, se obtiene un valor de  $R^2$  de 0.85, representando una correlación.

El valor obtenido de Pearson por correlación de los valores de la escala análogo visual y la variabilidad de GRS es de 0.9239, indicando una correlación estrecha fuerte.

### Correlación de los resultados de la escala analógica visual subjetiva frente a los cambios de la Frecuencia cardiaca

Las frecuencias cardiaca y respiratoria por su baja variabilidad asociada con el estímulo, no mostraron una correlación significativa.



**Gráfica 19** Correlación entre el promedio de la frecuencia cardiaca versus la escala analógica visual (EVA)

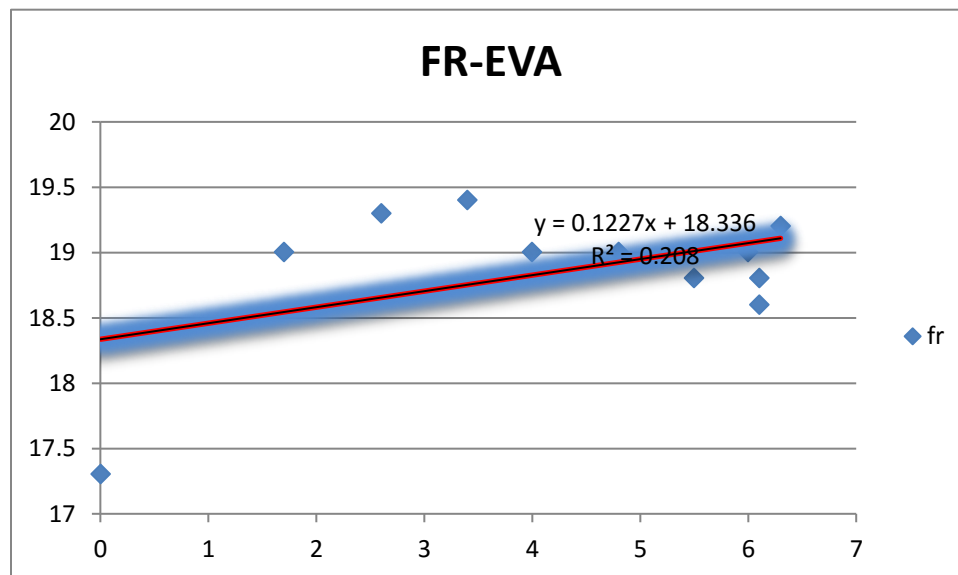
En el coeficiente de análisis con regresión lineal de la variable de la escala análogo visual (EVA) y tomando el promedio de los cambios en la frecuencia cardiaca presentados en los sujetos del grupo.

Se obtiene un valor de  $R^2$  de 0.7178, encontrando una correlación positiva.

El valor obtenido de Pearson en cuanto a la relación de escala análogo visual y frecuencia cardíaca presentado durante el estímulo doloroso es de 0,8490 indicando una relación estrecha fuerte entre ambas variables.

### **Correlación de los resultados de la escala analógica visual subjetiva frente a los cambios de la frecuencia respiratoria.**

En la tabla 7 se presentan los datos del promedio obtenidos de los 18 individuos de la frecuencia respiratoria y la escala análogo visual. Los cambios de la frecuencia respiratoria no muestra una tendencia determinada ante el estímulo, pero si se observa que los individuos tenían una frecuencia respiratoria menor antes del inicio del estímulo.



**Gráfica 20** Comportamiento de la frecuencia respiratoria de los 18 voluntarios participantes durante la prueba

En el coeficiente de análisis con regresión lineal de la variable escala análogo visual (EVA) y tomando los cambios en la frecuencia respiratoria

presentados en los sujetos del grupo. Se obtiene un valor de  $R^2$  con valor de 0,21 encontrando una correlación positiva débil.

El valor obtenido de Pearson de en cuanto a la relación de escala análogo visual y frecuencia respiratoria es de 0.45 lo cual indica una correlación positiva presentado durante el estímulo doloroso.

## 9. DISCUSIÓN

En este estudio se pueden ver las respuestas fisiológicas de los individuos sanos ante un estímulo doloroso de tipo mecánico y su correlación con la herramienta oro estándar para la medición del dolor, la escala análoga visual (EVA).

La búsqueda de una medición objetiva del dolor, nos llevó a utilizar la impedancia de la piel, la frecuencia respiratoria y la frecuencia cardíaca para reconocer y medir parámetros asociados con el control autonómico en individuos sanos, capaces de manifestar su dolor a través de una herramienta subjetiva.

Nuestros resultados concuerdan con los que se verifican en una serie de estudios anteriores, (32-48-49-52-83-85), demostrando la sensibilidad de los parámetros de respuesta autonómica antes mencionados, para identificar la presencia o la ausencia de dolor.

En este estudio se demuestra que tanto la impedancia de la piel y en menor grado la frecuencia cardíaca se correlacionan con la percepción de dolor con un grado medio de diferenciación entre dolor severo y dolor leve.

### **Resultados de la evaluación del dolor mediante la escala visual análoga del dolor mediante el estímulo de Algesimetría en los sujetos.**

Los estudios que comparan las variaciones fisiológicas del individuo frente a un estímulo doloroso, son muy diversos tanto en la tipificación de la población a estudio, como en la técnica de estimulación dolorosa y del registro de la respuesta.

Comparativamente frente a otros tipos de estudios, el presente trabajo utilizó individuos jóvenes sanos, capaces de reportar su percepción del dolor. Esto caracteriza de forma particular los resultados obtenidos. Así mismo la aplicación del estímulo sin utilizar métodos invasivos ni encontrarse este asociado a intervenciones médicas analgésicas.

En los estudios en adultos en donde se utilizaron escalas subjetivas como la VRS, es una constante la tendencia a referir el incremento de la sensación dolorosa asociada con el aumento del estímulo. Por lo anterior podemos inferir que las escalas subjetivas siguen siendo caracterizadas como un estándar de oro para la aproximación cualitativa y cuantitativa a la percepción dolorosa.<sup>48</sup>

No todos los protocolos de estimulación causaron dolor de manera continua, estable y segura. Por ejemplo en los estudios en los cuales se utilizaron estímulos térmicos con temperaturas variables, los rangos de temperatura entre los 42 C y los 44 C, no eran reportados como asociados a dolor. Para alcanzar un reporte de dolor se requería de temperaturas más altas (por encima de 46 grados).<sup>52</sup>

El estímulo utilizado en esta investigación (de tipo mecánico), ha sido reconocido en la literatura como adecuado y no invasivo para ocasionar dolor, dentro de rangos de compresión tolerable y con bajo riesgo de efectos colaterales<sup>35</sup>. En este estudio se confirma que el estímulo mecánico por compresión braquial con brazalete tiene características de continuidad, estabilidad y seguridad adecuadas para este tipo de pruebas. En este protocolo, el estímulo no varió en intensidad durante la prueba, el factor que indujo la variación en la percepción de dolor en el sujeto fue el tiempo durante el cual el brazo se mantuvo con disminución del flujo sanguíneo por compresión constante.

El análisis de los datos obtenidos en cada sujeto mostro reportes de valores que se incrementaban con el transcurrir del tiempo. La comparación intersujetos de los datos también mostró una tendencia general al reporte de incremento en la escala análoga visual. Esto es un soporte para reconocer que el protocolo de estimulación utilizado fue adecuado para la realización del experimento.

## **Cambios en la respuesta autonómica (frecuencia cardiaca y frecuencia respiratoria).**

### **Cambios en la Frecuencia Cardíaca**

Se ha propuesto que la variabilidad de la frecuencia cardiaca y su comportamiento depende de la modulación autonómica relacionando los componentes de la frecuencia alta con el tono simpático y la frecuencia baja con la modulación mixta.

En personas jóvenes quienes realizan regularmente entrenamiento físico, se produce mayor dominio vagal con disminución concomitante de la descarga simpática. Esto puede disminuir directamente el ritmo intrínseco del nodo sinusal lo que disminuye la frecuencia cardiaca. Se puede resaltar que en los datos obtenidos en este trabajo que la frecuencia cardiaca promedio se incrementó levemente a medida que la exposición al estímulo doloroso se mantenía en el tiempo. La FC promedio para el grupo fue de 75.2 con SD de 11 en el pico máximo del nivel del dolor. Solo un sujeto (voluntario 15) presento frecuencias cardiacas sobre 98 latidos por minuto.

La frecuencia cardiaca muestra una tendencia a diferenciar entre el dolor y no dolor, pero no permite una aproximación a la caracterización de grados intermedios. Estudios donde la frecuencia cardiaca se ve afectada por la percepción del dolor, la presentan como una medida con variabilidad intrasujeto elevada; aun así reconocen alguna evidencia de incremento gradual de la misma.<sup>52</sup>

Otros estudios mostraron que la frecuencia cardíaca y la presión arterial tienen muy débil correlación con la escala de dolor.<sup>47</sup>

La frecuencia cardiaca en este estudio, no muestra una tendencia de progresión con el paso del tiempo. Intrasujeto se registra cambios importantes aumento de la frecuencia cardiaca, comparada con los latidos que se presentaba antes del inicio del estímulo. El análisis grupal no nos muestra ningún escalonamiento significativo de la variable.

La frecuencia cardiaca no tuvo una tendencia uniforme intersujetos. En el 62% de los individuos (cantidad 11 sujetos) se registró aumento de la FC asociado con el transcurso del tiempo de aplicación del estímulo doloroso. En el 22% (4 sujetos) disminuyeron la frecuencia cardiaca y en un 16% (3 sujetos) no se observó tendencia de aumento o disminución.

### **Cambios en la Frecuencia Respiratoria**

En el análisis de datos de la frecuencia respiratoria (FR) de los sujetos de estudio, se registró una variabilidad normal para la edad y condición del grupo, sin cambios representativos vinculados con la aplicación del estímulo doloroso. Estas frecuencias respiratorias oscilaron dentro del rango de 14 y 26 por minuto, con medias entre 17 y 19.

La frecuencia respiratoria en la valoración intrasujeto no muestra variabilidad ni tendencia a progresión relacionada con el estímulo.

La frecuencia respiratoria no tuvo una tendencia uniforme intersujetos. En el 44% de los individuos (8 sujetos) se registró aumento de la FR asociado con el transcurso del tiempo de aplicación del estímulo doloroso. En el 33 % (6 sujetos) disminuyó la frecuencia respiratoria y en un 11% (4 sujetos) no se observó tendencia de aumento o disminución.

Los estudios revisados no presentaron datos de los cambios en la frecuencia respiratoria, aunque algunos incluyeron la medición de la saturación de oxígeno sanguíneo. En ellos no se presentaron resultados que se pudiesen ser comparados. Esto se podría explicar por el bajo nivel de correlación que pudieron encontrar.

Relacionando las frecuencias respiratorias encontradas en el grupo con la frecuencia cardíaca, la respiración lenta y profunda y la bioalimentación de la frecuencia cardíaca pudieron tener efectos en el aumento de la actividad vagal.<sup>20</sup>

### **Cambios en la respuesta galvánica de la piel.**

Diversos estudios han utilizado a la impedancia de la piel, como parámetro fisiológico comparado con la escala análoga visual del dolor. (32, 47, 49, 52, 83,85).

Algunos de estos estudios analizaron a partir de la amplitud de las ondas (83, 32), otros tomaron registro del número de fluctuaciones por minuto (32,48,49,84). En todos estos estudios se reconoció a la GRS como una medida de alta variabilidad individual.

Dentro de los diferentes protocolos de los estudios referidos se reconocen de manera persistente cambios en la impedancia representa el aumento del número de

fluctuaciones, durante el ciclo de medición escogido en presencia de estímulo doloroso (48,84). Otros reportes registran variaciones en la interpretación subjetiva del dolor correlacionables con cambios en la GRS, cuando se involucraba la evaluación de un tratamiento analgésico. (49). Los estudios soportados en los cambios de la amplitud de onda de la impedancia, permitieron diferenciar presencia o no de dolor (83,32). Esto lleva a creer que la impedancia de la piel cambia con el dolor y podría ser usada para cuantificar los cambios fisiológicos asociados con el dolor y caracterizar la intensidad del mismo.

Para este trabajo se tuvo en cuenta que los tiempos de medición preferenciales para obtener resultados contrastables en el registro de GRS debían ser superiores a un minuto, lo cual permitió la estabilización de la línea de base ante el estímulo doloroso y la posterior caracterización de la variabilidad de la impedancia en la piel. Igualmente los umbrales de registro utilizados en las referencias citadas, coinciden en ser superiores a 0.2 Us, lo cual a su vez fue favorable para disminuir el ruido en el registro. Los registros de este trabajo se hicieron teniendo en cuenta la diferenciación entre la actividad tónica y fásica de la impedancia. El experimentador requiere cierto grado de experiencia para diferenciar estos tipos de actividad, en este proyecto los registros fueron realizados por la misma persona, para evitar sesgos de interpretación. Actualmente no existe una estandarización de la técnica de medición para impedancia.

El presente estudio al igual que los referenciados, muestra una gran variabilidad individual de la impedancia. A pesar de ello se encontró una tendencia reproducible de carácter progresivo en cada sujeto.

#### **Correlación de los resultados de la escala analógica visual subjetiva frente a los cambios de la Frecuencia cardíaca**

En los estudios (52,49) algunos sujetos mostraron correlaciones negativas entre las calificaciones del dolor y de la frecuencia cardíaca, ninguno alcanzó significancia estadística. En estos estudios se reconoce que la FC permite diferenciar entre la presencia o ausencia de dolor. Los resultados del presente trabajo son equiparables con esto.

En los datos obtenidos en este trabajo de tesis el valor de  $R^2$  fue de 0.7178, encontrando una correlación positiva. El valor obtenido de Pearson en cuanto a la relación de escala análogo visual y frecuencia cardiaca fue de 0,8490 indicando una relación estrecha fuerte entre ambas variables.

### **Correlación de los resultados de la escala analógica visual subjetiva frente a los cambios de la frecuencia respiratoria**

En un estudio realizado en niños, se reportan cambios en la frecuencia respiratoria en los momentos de máximo dolor, alcanzando valores máximos de 44.3 respiraciones por minuto. Otros artículos no muestran correlación entre la frecuencia respiratoria y la caracterización del dolor en la escala análoga visual.<sup>92</sup>

En este trabajo de tesis, no se observó una correlación entre los datos de la FR versus la escala análoga visual. La diferencia más representativa se encontró entre los valores de base de la FR y los del minuto 9 con el estímulo doloroso. Esto diferenciaría la presencia o ausencia de dolor sin permitir una caracterización intermedia. En el análisis de correlación el valor  $R^2$  fue de 0,21, representando una correlación positiva débil. El valor obtenido de Pearson fue de 0.45 lo cual indica una correlación positiva en cuanto a la presencia del estímulo doloroso.

### **Correlación de los resultados de la escala analógica visual subjetiva frente a los cambios de la respuesta galvánica de la piel**

Los coeficientes de correlación entre la escala análoga visual y la impedancia de la piel difirieron en varios de los estudios revisados para este trabajo.

En uno de ellos el coeficiente de correlación intrasujeto entre la intensidad del dolor y la impedancia mostró una  $p \leq 0.5$  <sup>(52)</sup>.

En los estudios con niños utilizando la escala comportamental PIPP, para la diferenciación de estimulación táctil no dolorosa versus un estímulo doloroso, mostró una variación de la impedancia correlacionable con dicha escala. No se observó aumento

significativo de la amplitud de la onda frente al estímulo táctil (0.02 - 0.02), mientras que al estímulo doloroso dicha variación fue significativa (0.02 - 0.04) (p: 0.0069).<sup>(83)</sup>

Referencia de diferenciación intergénero mostraron diferencias en el número de fluctuaciones de las ondas GRS/minuto en una población de niñas con una  $r= 0.325$   $p=0.027$  contrastando con los niños con  $r=0.160$  y  $p=0.19$ .<sup>(83)</sup>

En pruebas realizadas en pacientes en postoperatorio, con GRS usando analgésico opiáceos se reconocieron variaciones en el número de fluctuaciones de las ondas minuto, con disminución de las mismas con el uso del analgésico 0,21 vs 0,27 y  $P <0,01$ .

En nuestro estudio la impedancia en la piel frente a la escala análogo visual mostro una relación significativa obteniendo un  $R^2$  de 0.85 y un valor de Pearson de 0.9239, indicando una relación estrecha fuerte.

## **Limitaciones del estudio**

Las limitaciones de este trabajo se relacionaron principalmente con la disponibilidad de los recursos tecnológicos (equipos de registro fisiológico), ya que esta disponibilidad estuvo restringida a horarios y fechas en las cuales no interfiriera con las actividades regulares de formación de pregrado y posgrado. El presupuesto del proyecto no podía incluir la adquisición de equipos exclusivos para el mismo.

## 10. CONCLUSIONES

Del presente estudio se puede concluir, que:

1. Bajo las condiciones específicas del estudio, el modelo implementado es una aproximación adecuada para reconocer la correlación entre las variaciones del estímulo de dolor, su representación subjetiva en la escala análoga visual y los cambios asociados con la respuesta autonómica, específicamente las variaciones en la respuesta galvánica de la piel.
2. La escala análoga visual permitió reconocer la interpretación subjetiva del estímulo doloroso y mantuvo la tendencia esperable para cada sujeto, con variabilidad alta intersujeto.
3. La variabilidad de la frecuencia cardíaca y la frecuencia respiratoria no representó una tendencia correlacionable con el incremento de la percepción. La variabilidad intersujeto puede asimilarse como variabilidad biológica no correlacionable con la duración del estímulo.
4. La impedancia de la piel (GRS) mostro predominantemente un incremento gradual correlacionable con la duración del estímulo doloroso, de manera continua y reproducible en todos los sujetos de estudio.

5. La combinación de parámetros subjetivos (escala análogo visual) con la medición de respuesta galvánica de la piel, permite una evaluación más detallada de la intensidad del dolor, producto de un estímulo mecánico.
  
6. Dicha aplicación combinada de estos parámetros subjetivos (EAV) y objetivos (GRS) pueden servir como alternativas de aproximación fisiológica al síntoma del dolor, e incluso permitir una aproximación desde el registro objetivo (GRS) en los pacientes que no tienen la capacidad del autoreporte.

## 11. RECOMENDACIONES

La evaluación del dolor en tiempo real, a partir de parámetros objetivos que cambian como respuesta a la actividad del sistema nervioso autónomo, es una herramienta valiosa y complementaria a las valoraciones subjetivas. Sin embargo, la técnica de registro de la GRS debe ser mejor definida y estandarizada para diferentes poblaciones y en diferentes condiciones, para aumentar tanto la sensibilidad y especificidad de la caracterización del dolor, antes que su uso en la práctica diaria puede extenderse.

El desarrollo futuro de las medidas objetivas de dolor pueden complementar y en algunos casos, incluso servir como alternativas a los pacientes que no pueden manifestar su dolor, lo cual podría optimizar de forma significativa el manejo del dolor en el campo clínico.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Albarracín Cárdenas. .Pain. History, morfosiology, evaluation and cost. VOL. 2, No. 2, AÑO 2007 7–18.
2. Agur A. J Reiriz. Tejidos. Membranas. Piel. Derivados De La Piel. 11<sup>a</sup> ed. MEMP 2007
3. Araiza L. Medición de impedancia eléctrica de la piel en el rango de frecuencia de 5 a 1,000 Hz. Revista Mexicana De Ingeniería Biomédica. 2007:77–82.
4. Armero P, Muriel C, Santos J, et al. Bases genéticas del dolor. Rev. la Soc. Esp. del Dolor. 2004; 11(7):444–451.
5. Aslaksen PM, Flaten MA. The roles of physiological and subjective stress in the effectiveness of a placebo on experimentally induced pain. Psychosom. Med. 2008; 70(7):811–8..
6. Bustos R, Fuentes C, Correlación entre análisis bioespectral y escala COMFORT en la evaluación de sedación en la Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. System. 2007; 78(6):592–598.
7. Bach DR, Daunizeau J, Kuelzow N, Friston KJ, Dolan RJ. Dynamic causal modeling of spontaneous fluctuations in skin conductance. 2011; 48:252–257.

8. Bantel C, Trapp S. The role of the autonomic nervous system in acute surgical pain processing - What do we know? *Anaesthesia*. 2011; 66:541–544.
9. Barakat A, Vogelzangs N, Licht CMM, et al. Dysregulation of the autonomic nervous system and its association with the presence and intensity of chronic widespread pain. *Arthritis Care Res*. 2012;64(8):1209–1216.
10. Baumgärtner U, Tiede W, Treede R-D, Craig a DB. Laser-evoked potentials are graded and somatotopically organized anteroposteriorly in the operculoinsular cortex of anesthetized monkeys. *J. Neurophysiol*. 2006;96(5):2802–8.
11. Benedek M, Kaernbach C. Decomposition of skin conductance data by means of nonnegative deconvolution. 2010; 47:647–658.
12. Benedek M, Kaernbach C. A continuous measure of phasic electrodermal activity. *J. Neurosci. Methods*. 2010; 190(1):80–91.
13. Le Breton, David. *Antropología del dolor*. Barcelona: Seix Barral, 1999.
14. Bourne S, Machado AG, Nagel SJ. Basic anatomy and physiology of pain pathways. *Neurosurg Clin N Am*. 2014; 25(4):629-638.
15. Bushnell MC, Marta Č, Low LA. Cognitive and emotional control of pain and its disruption in chronic pain. 2013; 14(Jul.).
16. Cade CH. Clinical tools for the assessment of pain in sedated critically ill adults. *Nurse. Crit. Care*. 2008; 13(6):288–97.
17. Caraceni A, Cherny N, Fainsinger R. Pain measurement tools and methods in clinical research in palliative care: recommendations of an Expert Working Group of the European Association of Palliative Care. *J. Pain Symptom Manage*. 2002; 23(3):239–55.
18. Carr DB, Goudas LC. Acute pain. *Lancet*. 1999; 353(9169):2051–2058.
19. Casals M, Samper D. Epidemiología, prevalencia y calidad de vida del dolor crónico no oncológico. Estudio ITACA\*. *Rev. la Soc. Española del Dolor*. 2004; 11:260–269.
20. Castro J, Benavides C. Dolor, El Quinto Signo Vital. *Revista de Economía*. Universidad del Rosario. 2004.
21. Chalaye P, Goffaux P, Lafrenaye S, Marchand S. Respiratory effects on experimental heat pain and cardiac activity. *Pain Med*. 2009; 10(8):1334–40.
22. Chapman CR, Tuckett RP, Song CW. Pain and stress in a systems perspective: reciprocal neural, endocrine, and immune interactions. *J. Pain*. 2008;9(2):122–45.
23. Chertow GM, Lazarus JM, Lew NL, Ma L, Lowrie EG. Bioimpedancia norms for the hemodialysis population. *Kidney Int*. 1997; 52:1617-21.

24. Coffman FD, Cohen S. Review Article : Modern Trends in Imaging XI Impedance measurements in the biomedical sciences. 2012; 35:363–374.
25. Cortelli P, Giannini G, Favoni V, Cevoli S, Pierangeli G. Nociception and autonomic nervous system. 2013; 34.
26. Covarrubias-Gómez A. Lumbalgia: Un problema de salud pública. *Rev. Mex. Anestesiol.* 2010; 33(SUPPL. 1):106–109.
27. Covarrubias-Gómez A, Guevara-López U, Gutiérrez-Salmerón C, Betancourt- Sandoval JA, Córdova-Domínguez JA. Epidemiología del dolor crónico en México. *Rev. Mex. Anestesiol.* 2010; 33(4):207–213.
28. Craig AD. How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nat. Rev. Neurosci.* 2002; 3(8):655–66.
29. Dehghan M, Merchant AT. Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies ? 2008; 7:1–8.
30. Dorfman D, Pappagallo M, Haddad A, Bolen J, Dorsey K. Patients With Chronic Pain : 26(2):1–12.
31. Doleys DM. Pain Mechanisms and Types. In: Doleys DM, ed. *Pain: Dynamics and Complexities*. 1st ed. Oxford University Press; 2014:27-42.
32. Eriksson M, Storm H, Schollin J. Skin conductance compared to a combined behavioural and physiological pain measure in newborn infants. 2008:27–30.
33. Ferrell B, Levy M. Managing pain from advanced cancer in the palliative care setting. *Clin. J. Oncol.* 2008;12 (4):575–81.
34. Frampton CL, Hughes-webb P, Medline W. The Measurement of Pain Statement of Search Strategies Used and Sources of Information. *Clin. Oncol.* 2011;23(6):381– 386.
35. Garland EL. Pain Processing in the Human Nervous System. A Selective Review of Nociceptive and Biobehavioral Pathways. *Prim. Care - Clin. Off. Pract.* 2012;39(3):561– 571.
36. Gene Smith, Lowenstein. Experimental Pain produced by the submaximum effort tourniquet technique: further evidence of validity. *The journal of pharmacology and experimental therapeutics.* junio 20, 1968.
37. Guerrero Liñero, Aura M. Gómez López MP. VIII Estudio Nacional Del Dolor 2014. Prevalencia del Dolor Crónico en Colombia. *Asoc. Colomb. para Estud. del Dolor.* 2014.

38. Haanpää M, Attal N, Backonja M, et al. NeuPSIG Guidelines on Neuropathic Pain Assessment. *Pain*. 2011; 152(1):14–27.
39. Hamunen K, Kontinen V, Hakala E, et al. Effect of pain on autonomic nervous system indices derived from photoplethysmography in healthy volunteers. 2012;108(February):838–844.
40. Hølen JC, Hjermsstad MJ, Loge JH, et al. Pain assessment tools: is the content appropriate for use in palliative care? *J. Pain Symptom Manage*. 2006;32(6):567–80.
41. Horgas BAL, College F. Assessing Pain in Older Adults with Dementia Pain Assessment in Advanced Dementia (PAINAD) Scale. 2012; 4(2003).
42. Hullett B, Chambers N, Preuss J, et al. Monitoring electrical skin conductance: a tool for the assessment of postoperative pain in children? *Anesthesiology*. 2009; 111(3):513–7.
43. Ibarra E. Una Nueva Definición de “Dolor”. *Un Imperativo de Nuestros Días. Dolor*. 2006:65–72.
44. José Cid C, Juan Pablo Acuña B, Javier de Andrés a., Luis Díaz J, Leticia Gómez- Caro a. ¿Qué y cómo evaluar al paciente con dolor crónico? evaluación del paciente con dolor crónico. *Rev. Médica Clínica Las Condes*. 2014;25(4):687–697.
45. Kooning M De, Daenen L, Cras P, et al. Autonomic Response to Pain in Patients with Chronic Whiplash Associated Disorders. 2013;(8):277–286.
46. Krivoy S, Tabasca M, Adelaide W. El dolor en la historia. Capítulo 6. 2010:163–224.
47. LA. J. Merino Fisiología Generalal Piel: Estructura Y Funciones. Univ. Cantab Fisiologia general 2011.:1–7
48. Ledowski T, Ang B, Schmarbeck T, Rhodes J. Monitoring of sympathetic tone to assess postoperative pain: skin conductance vs surgical stress index. *Anaesthesia*. 2009;64(7):727–31..
49. Ledowski T, Bromilow J, Paech MJ, et al. Monitoring of skin conductance to assess postoperative pain intensity. *Br. J. Anaesth*. 2006;97(6):862–5.
50. Lima MG, Aldana VL, Casanova SP, Casanova CP. Inducción y medición del dolor experimental. *Rev Cuba. Med Milit*. 2003;32(1):49–56.
51. Loggia ML, Napadow V. Multi-parameter autonomic-based pain assessment: More is more? *R. Pain*. 2012; 153(9):1779–1780.

52. Loggia ML, Juneau M, Bushnell MC. Autonomic responses to heat pain : Heart rate , skin conductance , and their relation to verbal ratings and stimulus intensity. *Pain*. 2011;152(3):592–598.
53. Lykken DT, Venables PH. Direct measurement of skin conductance: A proposal for standardization. *Psychophysiology*. 1971;8(5):656–672.
54. Mahar PD, Wasiak J, O’Loughlin CJ, et al. Frequency and use of pain assessment tools implemented in randomized controlled trials in the adult burns population: a systematic review. *Burns*. 2012;38(2):147–54
55. Mart LB, Rodr M. “Construcción, Validación Y Evaluación De Un Cuestionario Sobre Dolor Agudo Postoperatorio En El Hospital De Navarra .” 2007:1–217.
56. McEwen BS, Kalia M. The role of corticosteroids and stress in chronic pain conditions. *Metabolism*. 2010;59 Suppl 1(Suppl 1):S9–15
57. Merkel S. Pediatric pain tools and Assessment. 2000;15(6):408–414.
58. Mesas Á. Dolor Agudo y Crónico. Clasificación del Dolor. Historia clínica en las Unidades de Dolor. Hosp. Univ. Vall d’Hebrón. 2012:1–22.
59. Mertens P, Blond S, David R, Rigoard P. Anatomy, physiology and neurobiology of the nociception: A focus on low back pain (part A). *Neurochirurgie*. 2015;61(S1):S22- S34..
60. Moncada ME, Del M, Saldarriaga P, Bravo AF, Pinedo CR. Medición de Impedancia Eléctrica en Tejido Biológico – Revisión. 2010 ;( 25):51–76.
61. Muller A, Sherman R, Weiss J, Addison R, Carr D, Harden RN. Chapter 3: Neurophysiology of pain from landmine injury. *Pain Med*. 2006; 204- 208.
62. Noble B, Clark D, Meldrum M, et al. The measurement of pain, 1945-2000. *J. Pain Symptom Manage*. 2005; 29(1):14–21.
63. Lau BK, Vaughan CW. Descending modulation of pain: The GABA disinhibition hypothesis of analgesia. *Curr Opin Neurobiol*. 2014;29: 159-164.
64. Ossipov MH, Morimura K, Porreca F. Descending pain modulation and chronification of pain. *Curr Opin Support Palliat Care*. 2014;8(2):143-151.
65. Pereira LV. Psychophysical Evaluation Of The Descriptors Of Pain In The Postoperative Medicina (*B. Aires*). 2007;15(3).
66. Perlet C, Kessler M, Lenington S, Sittek H, Reiser M. Breast radiology Original article Electrical impedance measurement of the breast : effect of hormonal changes associated with the menstrual cycle. 2000;1554:1550–1555.

67. Peyron R. Fisiología del dolor. EMC - Kinesiterapia - Med. Física. 2007;28(4):1–15.
68. Rakhade SN, Jensen FE. Epileptogenesis in the immature brain: emerging mechanisms. 2009;5(July):380–391.
69. Ramos LF. Valoración de las escalas de dolor en pacientes con ventilación mecánica en Unidad de Cuidados Intensivos. Universidad de Coruña. 2014.
70. R Wolfram, Boucsein. Publication recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*, 49 (2012), 1017–1034.
71. Romera E, Perena M. Neurofisiología del dolor. *Rev Soc Esp Dolor*. 2000:11–17.
72. Ronconi M. La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal. *Medicina del Deporte*. 2011;4(4):167–174.
73. Rowbotham MC, Fields HL. The relationship of pain, allodynia and thermal sensation in post-herpetic neuralgia. *Brain*. 1996;119 ( Pt 2:347–54)
74. Salazar Muñoz Y. Caracterización de tejidos cardíacos mediante métodos mínimamente invasivos y no invasivos basados en espectroscopia de impedancia eléctrica. Cap. 2 Pág. 1-67(2004)
75. Salazar R. Dolor en el adulto mayor. 2008; *Avances en Psiquiatría Biológica*: 123–143.
76. Sanidad MDE. Unidad de Tratamiento del Dolor. Estándares y recomendaciones de calidad y seguridad. *Inf. Estud. e Investig*. 2011:161.
77. Saul Krivoy, Magalys Tabasca, Wallens Adelaide, Marlon Díaz, en *Historia del Dolor*, contenido en Aoün Soulie C, Briceño-Iragorry L, editores. Colección Razetti. Volumen X. Caracas: Editorial Ateproca;2010.p.163-224.
78. Saxena A, Sharma RK, Gupta A. of Kidney Diseases and Transplantation Renal Data from Asia-Africa Graft Function and Nutritional Parameters in Stable Postrenal Transplant Patients. 2016;27(2):356–361.
79. Sepulveda .J. definiciones clásicas de dolor. *Boletín Esc. de Medicina*, P. Universidad Católica de Chile 1994; 23: 148-151
80. Serpell MG, Makin A, Harvey A. Acute pain physiology and pharmacological targets: The present and future. *Acute Pain*. 1998; 1(3):31–47.
81. Sessler CN, Grap MJ, Ramsay MA. Evaluating and monitoring analgesia and sedation in the intensive care unit. *Crit. Care*. 2008;12 Suppl3:S2.
82. Storm H. Skin conductance and the stress response from heel stick in preterm infants. *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed*. 2000;83(May2007):F143–F147.
83. Storm H. Changes in skin conductance as a tool to monitor nociceptive stimulation and pain. *Curr. Opin. Anaesthesiol*. 2008;21:796–804.

84. Steeds CE. The anatomy and physiology of pain. *Surg.* 2016;34(2):55-59.
85. Strehle EM, Gray WK. Comparison of skin conductance measurements and subjective pain scores in children with minor injuries. *Acta Paediatrica*. 2013;102: 502–507.
86. L. Yelitz A. Bravo Mendoza Sistema Tegumentario Cap. 12. (C):1–30.
87. Timoneda. Definición y Clasificación del dolor. Hospital San Carlo Madrid. *Dolor.* 1995:49–55.
88. Treister R, Kliger M, Zuckerman G, Aryeh IG, Eisenberg E. Differentiating between heat pain intensities: the combined effect of multiple autonomic parameters. *Pain.* 2012;153(9):1807–14.
89. Tunks ER, Crook J, Weir R. Epidemiology of chronic pain with psychological comorbidity: Prevalence, risk, course, and prognosis. *Can. J. Psychiatry.* 2008;53(4):224–234.
90. Vaez Mousavi SM, Barry RJ, Rushby JA, Clarke AR. Arousal and activation effects on physiological and behavioral responding during a continuous performance task. *Acta Neurobiol. Exp. (Wars).* 2007;67(4):461–470.
91. Waxman SG. The Spinal Cord. In: Waxman SG, ed. *Clinical Neuroanatomy.* 27th ed. Lange; 2013:43-65.
92. Valkenburg AJ, Niehof SP, van Dijk M, Verhaar EJM, Tibboel D. Skin conductance peaks could result from changes in vital parameters unrelated to pain. *Pediatr. Res.* 2012; 71(4):375–379.
93. Vallbo ÅB, Hagbarth K, Wallin BG. Microneurography : how the technique developed and its role in the investigation of the sympathetic nervous system. 2004:1262–1269.
94. Vargasa P. ¿Sienten el dolor del mismo modo los diferentes grupos étnicos ? *Med Clin.* 2005:61–66.
95. Vidal M. Dolor en neonatos. *Rev. Soc. Esp. Dolor* 12:98-111.
96. Villar J. Cómo investigar en algo tan subjetivo como el dolor. *Rev Soc Esp Dolor.* 2006:250–253.
97. Xochitl Gallegos- Y Torres T. J. Biorretroalimentación De La Respuesta Galvánica De La Piel Y Entrenamiento En Relajacion: Un Estudio Piloto. *Revista Latinoamericana De Psicología* 1983. Vol 15 - Nos. 1-2 259-275. Universidad Nacional Autónoma de México.
98. Young J, Siffleet J, Nikoletti S, Shaw T. Use of a Behavioral Pain Scale to assess pain in ventilated, unconscious and/or sedated patients. *Intensive Crit. Care Nurs.* 2006; 22(1):32–9.
99. Zuluaga A, Cardinali D. Sistemas sensoriales. Cap 48:874-915. *Bases fisiológicas de la práctica médica.* 2010

## 13. ANEXOS:

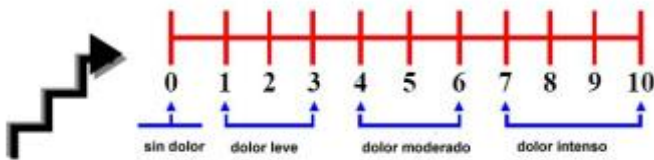


### CONSENTIMIENTO INFORMADO

TITULO DE ESTUDIO	EVALUACIÓN DEL DOLOR INDUCIDO MEDIANTE UN ESTIMULO MECÁNICO CONTROLADO EN INDIVIDUOS SANOS MEDIANTE ESCALA ANÁLOGO VISUAL VERSUS RESPUESTA GALVÁNICA DE LA PIEL
Director del Proyecto investigación	Ph.D., M.Sc., MD, OSCAR ARMANDO GARCÍA VEGA. Director División de Farmacología. Profesor asociado de la División de

Investigador	Emma Patricia Muñoz Díaz Enfermera universidad Nacional Candidato a Magister en
Este documento tiene como finalidad orientarlo en la toma de decisiones para ser partícipe o no en la investigación propuesta, antes de tomar cualquier decisión léalo atentamente. El documento puede contener palabras que usted no comprenda, por favor pregúntele al profesional encargado, para aclarar cualquier duda que tenga, haga las preguntas que considere pertinentes hasta asegurar la comprensión de los procedimientos que se realizaran dentro de la investigación y riesgos que asumirá al participar en la investigación.	
En que consiste la investigación.	La investigación busca comparar una escala numérica analógica para medición de dolor, la cual es una escala del 1 al 10, un método tradicional usado para la medición de dolor y de carácter subjetiva versus los cambios que se presentan en la piel a través de la medición de la impedancia o actividad eléctrica de la piel, cuando una persona es sometida a un estímulo de dolor.
Posibles resultados	Los resultados de esta investigación podrían conducir a determina como cambia la actividad eléctrica de la piel cuando alguien es sometido a un estímulo que le produce dolor y si este cambio puede ser comparado o es similar a su nivel de dolor expresado en una escala subjetiva del 0 al 10 donde 0 es semejante a no dolor y 10 será el máximo dolor tolerado por la persona.
Participantes del estudio	18 personas de sexo femenino o masculino que cumplan los criterios de inclusión del estudio.
Procedimiento	Las personas que participen en el estudio entraran en un proceso de selección, por parte del investigador verificando que cumpla los criterios de inclusión de esta investigación, esto incluye una valoración por parte del investigador quien realizara una serie de preguntas sobre su experiencia con el dolor. A cada persona se aplicara dos veces el estímulo doloroso en dos diferentes días.
¿Cómo es el estímulo?	El primer paso es tomar la presión arterial de la persona para tener un valor de su tensión sistólica. Se colocan electrodos en las manos para medir la actividad eléctrica de la piel durante el estímulo. Se coloca un brazalete de la misma manera que para tomar la presión arterial este se insufla hasta llegar a una presión equivalente a la presión sistólica, más un excedente de 50 mmHg. Se Mantiene esta presión durante toda la prueba. La persona comienza a realizar flexión y extensión de los dedos de la mano (abrir y cerrar la mano), con su máxima fuerza posible de tal manera que haga una flexión cada dos segundos.

Evaluación de dolor inducido mediante estímulo mecánico controlado en individuos sanos mediante escala análogo visual versus respuesta galvánica de la piel.

	<p>Se realizan 20 ejercicios de agarre de dos segundos de duración en intervalos de cuatro segundos en el 50% de su fuerza máxima de agarre. El ejercicio debe ser continuo.</p> <p>Se pregunta a la persona en que momento en que empieza a experimentar dolor.</p> <p>Cada 30 segundos durante el procedimiento, la persona calificara alternativamente ya sea la intensidad o desagrado de su dolor utilizando una escala numérica (0-10).</p>  <p>La persona continuará con el ejercicio hasta que no soporte el dolor. Se desinflará lentamente el brazalete y se retirará.</p> <p>Durante todo el procedimiento se estará realizando la medición a través de los electrodos que se le colocaron, de su actividad eléctrica de la piel, su frecuencia cardiaca, y de su frecuencia respiratoria.</p>
Beneficios	<p>Es probable que quien participe voluntariamente en este estudio de Algesimetría obtenga conocimiento sobre su tolerancia al dolor. La valoración de dolor es una medida subjetiva; es decir cada quien expresa si siente o no dolor y como es de intenso ese dolor.</p> <p>Existen personas que no pueden expresar el dolor de forma verbal y por ello su manejo del dolor es complejo o no medible, las investigaciones en dolor logran mejorar y aumentar la calidad de vida y la sobrevivencia de muchos pacientes y usted puede contribuir en ello participando en investigaciones de algesimetría.</p>
Riesgos o incomodidades.	<p>Los riesgos que asume durante la sesión de Algesimetría son bajos, la incomodidad que puede presentar es el dolor cuando se aplique el estímulo. Entre otras eventualidades puede presentar:</p> <p>Sudoración, aumento de la frecuencia cardiaca, enrojecimiento o hematoma de la piel en el sitio donde se dejó el torniquete. Dos horas se considera el tiempo en el cual un torniquete puede estar en su lugar antes de la lesión neuromuscular y pérdida funcional o que pueda causar una complicación sistémica como Trombosis venosa profunda y embolia pulmonar. El daño isquémico se produce después de la aplicación del torniquete de seis o más horas.</p> <p>El estímulo doloroso no tiene duración de más de 10 min y usted podrá detener la prueba cuando así lo desee según su tolerancia al dolor.</p>
Costos	<p>La participación en el estudio no deriva ningún costo para el voluntario.</p>
Privacidad y confidencialidad	<p>Los resultados encontrados en el siguiente estudio se podrán utilizar con fines científicos y podrán ser publicados en revistas científicas o ser presentados en reuniones del mismo carácter, su identidad no será</p>

---

	<p>revelada, solo datos como edad, sexo y resultados de su prueba. Esta autorización será utilizada hasta el final del estudio, pero usted puede cancelar su participación en la investigación en el momento que usted desee y está ya no tendrá validez, y los datos obtenidos en su participación no serán utilizados.</p>
Comunicación con el investigador	<p>Si necesita alguna información adicional sobre la investigación o tiene alguna duda sobre la misma, por favor comunicarse con el investigador principal Emma Patricia Muñoz Díaz al número celular 3166507007 o al correo electrónico <a href="mailto:medición.dolor@gmail.com">medición.dolor@gmail.com</a></p>
Participación y retiro voluntario	<p>La participación en este estudio es voluntaria. Usted puede decidir no participar o retirarse del estudio en cualquier momento. De ser necesario su participación en el estudio puede ser detenida por el investigador sin su consentimiento previo aviso.</p> <p>Este consentimiento cumple con la Resolución 008430 del 04 de octubre de 1993, Título II "De la investigación en seres humanos" Capítulo I " De los aspectos éticos en la investigación en seres humanos." Artículo 5 al 16, donde se incluyen aspectos sobre el consentimiento informado.</p>

**Tabla 11 Ficha de Recolección de Datos**

TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS- CODIGO: \_\_\_\_\_

Fecha y hora:	
Nombre	CC.No.
Edad	Sexo

**VALORACION DE REPOSO**

TensiónSistólica	TensiónDiastólica	Tensión a utilizar en estímulo

REGISTRO CODIGO:				
TIEMPO	VALOR EVA	FC	FR	IMPEDANCIA
REPOSO				
1 MINUTO				
2 MINUTO				
3 MINUTO				
4 MINUTO				
5 MINUTO				
6 MINUTO				
7 MINUTO				
8 MINUTO				
9 MINUTO				
10 MINUTO				