

Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

INSTITUTO PROFESIONAL
EN TERAPIAS Y HUMANIDADES
LICENCIATURA EN FISIOTERAPIA



Instituto Profesional en Terapias y Humanidades

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA NEURORREHABILITACIÓN ROBÓTICA ACTIVA EN MIEMBROS INFERIORES PARA EL INICIO DE LA DEAMBULACIÓN CON EL USO DE LOKOMAT EN PACIENTES DE EDADES COMPRENDIDAS ENTRE 50 A 60 AÑOS POSTERIOR A EVENTO CEREBROVASCULAR ISQUÉMICO

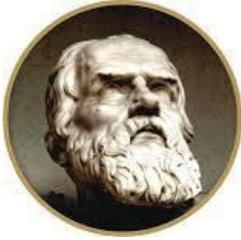


Que Presentan

Karla Pamela Castro López
Denaly Judith Marroquín Estrada

Ponentes

Ciudad de Guatemala, Guatemala, 2023



Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

INSTITUTO PROFESIONAL
EN TERAPIAS Y HUMANIDADES
LICENCIATURA EN FISIOTERAPIA



Instituto Profesional en Terapias y Humanidades

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA NEURORREHABILITACIÓN ROBÓTICA ACTIVA EN MIEMBROS INFERIORES PARA EL INICIO DE LA DEAMBULACIÓN CON EL USO DE LOKOMAT EN PACIENTES DE EDADES COMPRENDIDAS ENTRE 50 A 60 AÑOS POSTERIOR A EVENTO CEREBROVASCULAR ISQUÉMICO



Tesis profesional para obtener el Título de Licenciado en Fisioterapia

Que Presentan

Karla Pamela Castro López
Denaly Judith Marroquín Estrada

Ponentes

L. Ft. Cinthya Semiramis Pichardo Torres

Director de Tesis

Lcda. Isabel Díaz Sabán

Asesor Metodológico

INVESTIGADORES RESPONSABLES

Ponente

Karla Pamela Castro López, Denaly Judith Marroquín Estrada

Director de Tesis

LFT. Cinthya Semiramis Pichardo Torres

Asesor Metodológico

Licenciada Isabel Díaz Sabán



Guatemala, 28 de octubre 2023

Estimadas alumnas:

Karla Pamela Castro López y Denaly Judith Marroquín Estrada

Presente.

Respetables:

La comisión designada para evaluar el proyecto **“Revisión bibliográfica de los efectos fisiológicos de la neurorrehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isqu3mico”** correspondiente al Examen General Privado de la Carrera de Licenciatura en Fisioterapia realizado por ustedes, ha dictaminado dar por APROBADO el mismo.

Aprovecho la oportunidad para felicitarlas y desearles 3xito en el desempe1o de su profesi3n.

Atentamente,

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

Lic. María Isabel Díaz
Sabán
Secretario

Lic. Diego Estuardo
Jiménez Rosales
Presidente

Lic. Haty Guadalupe
Cristina Caxaj
Interiano
Examinador



Guatemala, 28 de octubre 2023

Estimadas alumnas:

Denaly Judith Marroquín Estrada y Karla Pamela Castro López

Presente.

Respetables:

La comisión designada para evaluar el proyecto **“Revisión bibliográfica de los efectos fisiológicos de la neurorrehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isqu3mico”** correspondiente al Examen General Privado de la Carrera de Licenciatura en Fisioterapia realizado por ustedes, ha dictaminado dar por APROBADO el mismo.

Aprovecho la oportunidad para felicitarlas y desearles 3xito en el desempe1o de su profesi3n.

Atentamente,

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

Lic. María Isabel Díaz
Sabán
Secretario

Lic. Diego Estuardo
Jiménez Rosales
Presidente

Lic. Haly Guadalupe
Cristina Caxaj
Interiano
Examinador



Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

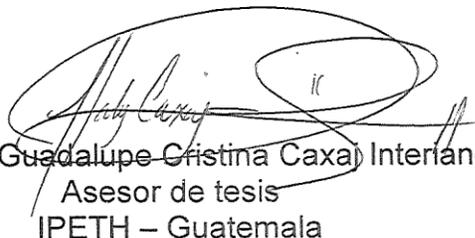
Guatemala, 11 de mayo 2022

Doctora
Vilma Chávez de Pop
Decana
Facultad de Ciencias de la Salud
Universidad Galileo
Respetable Doctora Chávez:

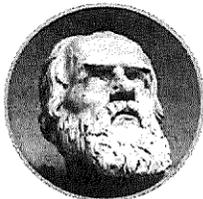
Tengo el gusto de informarle que he realizado la revisión de trabajo de tesis titulado: **“Revisión bibliográfica de los efectos fisiológicos de la neurorrehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulacion con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 años posterior a evento cerebrovascular isquémico”** de las alumnas **Karla Pamela Castro López y Denaly Judith Marroquín Estrada.**

Después de realizar la revisión del trabajo he considerado que cumple con todos los requisitos técnicos solicitados, por lo tanto, las autoras y el asesor se hacen responsables del contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente



Lic. Haly Guadalupe-Cristina Caxaj Interiano
Asesor de tesis
IPETH – Guatemala



Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

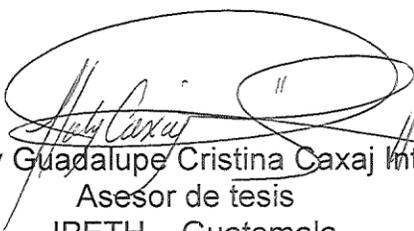
Guatemala, 11 de mayo 2022

Doctora
Vilma Chávez de Pop
Decana
Facultad de Ciencias de la Salud
Universidad Galileo
Respetable Doctora Chávez:

Tengo el gusto de informarle que he realizado la revisión de trabajo de tesis titulado: **“Revisión bibliográfica de los efectos fisiológicos de la neurorrehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulación con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 años posterior a evento cerebrovascular isquémico”** de las alumnas Denaly Judith Marroquín Estrada y Karla Pamela Castro López.

Después de realizar la revisión del trabajo he considerado que cumple con todos los requisitos técnicos solicitados, por lo tanto, las autoras y el asesor se hacen responsables del contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente


Lic. Haly Guadalupe Cristina Caxaj Interiano
Asesor de tesis
IPETH – Guatemala



Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

Guatemala, 13 de mayo 2022

Doctora
Vilma Chávez de Pop
Decana
Facultad de Ciencias de la Salud
Universidad Galileo

Respetable Doctora Chávez:

De manera atenta me dirijo a usted para manifestarle que las alumnas **Karla Pamela Castro López y Denaly Judith Marroquín Estrada** de la Licenciatura en Fisioterapia, culminaron su informe final de tesis titulado: **“Revisión bibliográfica de los efectos fisiológicos de la neurorrehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulacion con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 años posterior a evento cerebrovascular isquémico”** Ha sido objeto de revisión gramatical y estilística, por lo que puede continuar con el trámite de graduación. Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente

Lic. Emanuel Alexander Vásquez Monzón
Revisor Lingüístico
IPETH- Guatemala



Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

Guatemala, 13 de mayo 2022

Doctora
Vilma Chávez de Pop
Decana
Facultad de Ciencias de la Salud
Universidad Galileo

Respetable Doctora Chávez:

De manera atenta me dirijo a usted para manifestarle que las alumnas **Denaly Judith Marroquín Estrada y Karla Pamela Castro López** de la Licenciatura en Fisioterapia, culminaron su informe final de tesis titulado: **“Revisión bibliográfica de los efectos fisiológicos de la neurorrehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isqu3mico”** Ha sido objeto de revisi3n gramatical y estilística, por lo que puede continuar con el trámite de graduaci3n. Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente

Lic. Emanuel Alexander Vasquez Monz3n
Revisor Lingüístico
IPETH- Guatemala



**IPETH, INSTITUTO PROFESIONAL EN TERAPIAS Y HUMANIDADES A.C.
LICENCIATURA EN FISIOTERAPIA COORDINACIÓN
DE TITULACIÓN**

INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN: LISTA COTEJO DE TESINA DIRECTOR DE TESINA

Nombre del Director: LFT. Cinthya Semiramis Pichardo Torres
Nombre del Estudiante: Karla Pamela Castro López, Denaly Judith Marroquín Estrada
Nombre de la Tesina/sis: Efectos fisiológicos de la neurorehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isquémico: revisi3n bibliográfica
Fecha de realizaci3n: Primavera 2022

Instrucciones: Verifique que se encuentren los componentes se1alados en la Tesina del alumno y marque con una X el registro del cumplimiento correspondiente. En caso de ser necesario hay un espacio de observaciones para correcciones o bien retroalimentaci3n del alumno.

ELEMENTOS B1SICOS PARA LA APROBACI3N DE LA TESINA

No.	Aspecto a Evaluar	Registro de Cumplimiento		Observaciones
		Si	No	
1.	El tema es adecuado a sus Estudios de Licenciatura.	X		
2.	El t3tulo es claro, preciso y evidencia claramente la problem1tica referida.	X		
3.	La identificaci3n del problema de investigaci3n plasma la importancia de la investigaci3n.	X		
4.	El problema tiene relevancia y pertinencia social y ha sido adecuadamente explicado junto con sus interrogantes.	X		
5.	El resumen es pertinente al proceso de investigaci3n.	X		
6.	Los objetivos tanto generales como espec3ficos han sido expuestos en forma correcta, en base al proceso de investigaci3n realizado.	X		
7.	Justifica consistentemente su propuesta de estudio.	X		

8.	El planteamiento es claro y preciso. claramente en qué consiste su problema.	X		
9	La pregunta es pertinente a la investigación realizada.	X		
10.	Los objetivos tanto generales como específicos, evidencia lo que se persigue realizar con la investigación.	X		
11.	Sus objetivos fueron verificados.	X		
12	Los aportes han sido manifestados en forma correcta.	X		

13.	Los resultados evidencian el proceso de investigación realizado.	X		
14.	Las perspectivas de investigación son fácilmente verificables.	X		
15.	Las conclusiones directamente derivan del proceso de investigación realizado	X		
16.	El capítulo I se encuentra adecuadamente estructurado en base a los antecedentes que debe contener.	X		
17.	En el capítulo II se explica y evidencia de forma correcta el problema de investigación.	X		
18.	El capítulo III plasma el proceso metodológico realizado en la investigación.	X		
19.	El capítulo IV proyecta los resultados, discusión, conclusiones y perspectivas pertinentes en base a la investigación realizada.	X		
20.	El señalamiento a fuentes de información documentales y empíricas es el correcto.	X		
21.	Permite al estudiante una proyección a nivel investigativo.	X		

Revisado de conformidad en cuanto al estilo solicitado por la institución



LFT. Cinthya Semirani Pichardo

Nombre y Firma Del Director de Tesina

Nombre del Asesor: Licenciada Isabel Díaz Sabán
Nombre del Estudiante: Karla Pamela Castro López, Denaly Judith Marroquín Estrada
Nombre de la Tesina/sis: Efectos fisiológicos de la neurorehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isqu3mico: revisi3n bibliogr3fica
Fecha de realizaci3n: Primavera 2022

Instrucciones: Verifique que se encuentren los componentes se1alados en la Tesina del alumno y marque con una X el registro del cumplimiento correspondiente. En caso de ser necesario hay un espacio de observaciones para correcciones o bien retroalimentaci3n del alumno.

ELEMENTOS B3SICOS PARA LA APROBACI3N DE LA TESINA

No.	Aspecto a evaluar	Registro de cumplimiento		Observaciones
		Si	No	
1	Formato de P3gina			
a.	Hoja tama1o carta.	X		
b.	Margen superior, inferior y derecho a 2.5 cm.	X		
c.	Margen izquierdo a 3.0 cm.	X		
d.	Orientaci3n vertical excepto gr3ficos.	X		
e.	Paginaci3n correcta.	X		
f.	N3meros romanos en min3sculas.	X		
g.	P3gina de cada cap3tulo sin paginaci3n.	X		
h.	Todos los t3tulos se encuentran escritos de forma correcta.	X		
i.	Times New Roman (Tama1o 12).	X		
j.	Color fuente negro.	X		
k.	Estilo fuente normal.	X		
l.	Cursivas: Solo en extranjerismos o en locuciones.	X		
m.	Texto alineado a la izquierda.	X		
n.	Sangr3a de 5 cm. Al iniciar cada p3rrafo.	X		
o.	Interlineado a 2.0	X		
p.	Resumen sin sangr3as.	X		
2.	Formato Redacci3n			
a.	Sin faltas ortogr3ficas.	X		
b.	Sin uso de pronombres y adjetivos personales.	X		
c.	Extensi3n de oraciones y p3rrafos variado y medurado.	X		
d.	Continuidad en los p3rrafos.	X		
e.	P3rrafos con estructura correcta.	X		
f.	Sin uso de gerundios (ando, iendo)	X		
g.	Correcta escritura num3rica.	X		

h.	Oraciones completas.	X		
i.	Adecuado uso de oraciones de enlace.	X		
j.	Uso correcto de signos de puntuación.	X		
k.	Uso correcto de tildes.	X		
l.	Empleo mínimo de paréntesis.	X		
m.	Uso del pasado verbal para la descripción del procedimiento y la presentación de resultados.	X		
n.	Uso del tiempo presente en la discusión de resultados y las conclusiones.	X		
3.	Formato de Cita	Si	No	Observaciones
a.	Empleo mínimo de citas.	X		
b.	Citas textuales o directas: menores a 40 palabras, dentro de párrafo u oración y entrecomilladas.	X		
c.	Citas textuales o directas: de 40 palabras o más, en párrafo aparte, sin comillas y con sangría de lado izquierdo de 5 golpes.	X		
d.	Uso de tres puntos suspensivos dentro de la cita para indicar que se ha omitido material de la oración original. Uso de cuatro puntos suspensivos para indicar cualquier omisión entre dos oraciones de la fuente original.	X		
4.	Formato referencias	Si	No	Observaciones
a.	Correcto orden de contenido con referencias.	X		
b.	Referencias ordenadas alfabéticamente.	X		
c.	Correcta aplicación del formato APA 2016.	X		
5.	Marco Metodológico	Si	No	Observaciones
a.	Agrupó, organizó y comunicó adecuadamente sus ideas para su proceso de investigación.	X		
b.	Las fuentes consultadas fueron las correctas y de confianza.	X		
c.	Seleccionó solamente la información que respondiese a su pregunta de investigación.	X		
d.	Pensó acerca de la actualidad de la información.	X		
e.	Tomó en cuenta la diferencia entre hecho y opinión.	X		
f.	Tuvo cuidado con la información sesgada.	X		
g.	Comparó adecuadamente la información que recopiló de varias fuentes.	X		
h.	Utilizó organizadores gráficos para ayudar al lector a comprender información conjunta.	X		
i.	El método utilizado es el pertinente para el proceso de la investigación.	X		
j.	Los materiales utilizados fueron los correctos.	X		
k.	El estudiante conoce la metodología aplicada en su proceso de investigación.	X		

Revisado de conformidad en cuanto al estilo solicitado por la institución



Licenciada María Isabel Díaz Sabán

DICTAMEN DE TESINA

Siendo el día 13 del mes de Mayo del año 2022.

Acepto la entrega de mi Título Profesional, tal y como aparece en el presente formato.

Los C.C

Director de Tesina
Función

LFT. Cinthya Semiramis Pichardo Torre



Asesor Metodológico
Función

Licda. Isabel Díaz Sabán



Coordinador de Titulación
Función

LFT. Diego Estuardo Jiménez Rosales



Autorizan la tesina con el nombre de:

Efectos fisiológicos de la neurorehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isqu3mico: revisi3n bibliogr3fica

Realizada por el estudiante:

Karla Pamela Castro L3pez, Denaly Judith Marroqu3n Estrada

Para que pueda realizar la segunda fase de su Examen Privado y de esta forma poder obtener el T3tulo y C3dula Profesional como Licenciado en Fisioterapia.

 IPETH®
Titulaci3n Campus Guatemala
Firma y Sello de Coordinaci3n de Titulaci3n

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a Dios por brindarnos la sabiduría y fuerza necesaria durante nuestra formación profesional y permitírnos llegar al final de este proceso.

A nuestros padres Laiton y Fabiola, Carlos y Martita por su apoyo incondicional y amor durante estos años de estudio y por siempre creer en nosotras, por ser nuestra fuerza cuando sentíamos que no podíamos más. Y a nuestros hermanos Ricardo, Daniela y Paola.

A nuestras familias, por su apoyo y confianza depositada en nosotras, en especial a nuestros abuelitos terrenales y los que están en el cielo, por su amor y ternura.

A nuestra directora de tesis Cinthya Pichardo y nuestra asesora de tesis Isabel Díaz por su ayuda proporcionada y acompañamiento en este proceso, que con sus conocimientos y experiencia han hecho de esta investigación un trabajo enriquecedor.

A los diferentes profesionales fisioterapeutas con los que hemos compartido, que nos han transmitido sus conocimientos y experiencia para desenvolvernos en el ámbito profesional, siempre en busca de la excelencia.

A nuestros pacientes por ayudarnos a crecer como profesionales y depositar su absoluta confianza en nosotras.

Denaly M. y Karla C.

Agradecimientos

A Dios por bendecir nuestras manos, con las cuales tratamos a nuestros pacientes y por ser nuestra guía en todo momento de nuestras vidas y darnos sabiduría.

A nuestros padres Laiton y Fabiola, Carlos y Marta, infinitas gracias por su amor y acompañamiento durante estos años en especial este último, por darnos ánimos para continuar y motivarnos a cumplir nuestros sueños.

A nuestras familias por darnos siempre palabras de aliento para continuar nuestro camino. Y en especial a nuestros abuelitos por sus consejos, creer en nosotras y por su amor.

A nuestra directora de tesis Cinthya Pichardo y nuestra asesora de tesis Isabel Díaz por su ayuda proporcionada y acompañamiento en este proceso, que con sus conocimientos y experiencia han hecho de esta investigación un trabajo enriquecedor.

A los diferentes profesionales fisioterapeutas con los que hemos compartido, que nos han transmitido sus conocimientos y experiencia para desarrollarnos en el ámbito profesional, siempre en busca de la excelencia.

A nuestros pacientes por ayudarnos a crecer como profesionales y depositar su absoluta confianza en nosotras.

Denaly M. y Karla C.

Palabras Clave

Ictus

Accidente cerebrovascular

Evento cerebrovascular

Neurorrehabilitación robótica

Lokomat

Ischemic Stroke

Skeletal Muscle

Robotic Neurorehabilitation

Human Gait.

Índice

Portadilla.....	i
Investigadores responsables	ii
Carta de autoridades y terna examinadora	iii
Carta de aprobación de asesor de tesis.....	v
Carta aprobación revisor lingüístico	vii
Lista de cotejo directora de tesis	ix
Lista de cotejo asesor metodológico	xi
Dictamen de Tesis.....	xiii
Dedicatoria.....	xiv
Agradecimientos	xv
Palabras Clave	xvi
Resumen.....	1
Capítulo I.....	2
Marco Teórico	2
1.1 Antecedentes Generales	3
1.1.1 Descripción de la Problemática.	3
1.1.2 Neuroanatomía del sistema nervioso central	5
1.1.3 Neurofisiología del Aparato motor.....	34
1.1.4 Movimiento en el cuerpo humano	46
1.1.5 Dinámica en el sistema musculoesquelético	52

1.1.6 Postura	55
1.1.7. Equilibrio.....	60
1.1.8 Descripción de la Marcha.....	60
1.1.9 Accidente cerebrovascular.....	73
1.2 Antecedentes Específicos	86
1.2.1 Rehabilitación Robótica	86
1.2.2 Lokomat.....	89
1.2.3 Lokomat aplicado al ECV	97
Capítulo II.....	99
Planteamiento del problema.....	99
2.1 Planteamiento del Problema.....	99
2.2 Justificación.....	102
2.3 Objetivos	104
2.3.1 Objetivo General	104
2.3.2 Objetivos Particulares.....	105
Capítulo III.....	106
Marco metodológico	106
3.1 Materiales.....	106
3.2 Métodos.....	108
3.2.1 Enfoque de investigación.....	108
3.2.2 Tipo de estudio	108
3.2.3 Método de estudio	109

3.2.4 Diseño de investigación	109
3.2.5 Criterios de selección	110
3.3 Variables	111
3.3.1 Variable independiente	111
3.3.2 Variable dependiente	112
3.3.3 Operacionalización de variables	112
Capítulo IV	113
Resultados	113
4.1 Resultados	113
4.2 Discusión.....	123
4.3 Conclusiones	125
4.4 Perspectiva y/o aplicaciones prácticas.....	127
Referencias.....	128
Anexos	136

Índice de Tablas

Tabla 1.Irrigación Arterial de los hemisferios cerebrales	24
Tabla 2.Drenaje venoso del encéfalo	26
Tabla 3.Movimientos Osteocinemáticos	49
Tabla 4.Movimientos artrocinemáticos.....	51
Tabla 5.Terminología de la marcha	67
Tabla 6.Factores de riesgo en el Accidente Cerebrovascular.....	74
Tabla 7.Signos y Síntomas del Accidente Cerebrovascular.....	77
Tabla 8.Historia de la Robótica	87
Tabla 9.Indicaciones y contraindicaciones del Lokomat	96
Tabla 10.Criterio de selección	110
Tabla 11.Operacionalización de las variables.....	112
Tabla 12.Escala de NIHSS	136
Tabla 13.Escala Neurológica Canadiense (CNS)	137
Tabla 14.Escala de Glasgow.....	138
Tabla 15.Índice de Barthel.....	139
Tabla 16.Escala de Rankin Modificada	140

Índice de Figuras

Figura 1.Muertes por ECV en Guatemala	5
Figura 2.Partes de la neurona.....	7
Figura 3.Clasificación estructural de la neurona.....	8
Figura 4.Histología de las células gliales.....	11
Figura 5.Cráneo Adulto, Vista: Lateral e Inferior.....	13
Figura 6.Meninges y relación con el calvario, el encéfalo.....	15
Figura 7.Partes del encéfalo.....	16
Figura 8.Lóbulos y Surcos del Cerebro	17
Figura 9.Vista medial del lado izquierdo del encéfalo.....	18
Figura 10.Columna vertebral, médula espinal	20
Figura 11.Arterias que irrigan el encéfalo.	21
Figura 12.Vista Inferior del encéfalo.	23
Figura 13.Polígono de Willis	24
Figura 14.Drenaje venoso del encéfalo.....	25
Figura 15.Vascularización arterial de la médula espinal	28
Figura 16.Irrigación de la médula espinal	29
Figura 17.Vías principales de la sensibilidad general.....	31
Figura 18.Principales vías motoras	33
Figura 19.Organización típica en segmento medular.....	35
Figura 20.Fibras sensoriales periféricas y motoneuronas	36

Figura 21. Localización de los núcleos.....	38
Figura 22. Áreas funcionales motoras y somatosensitivas.....	39
Figura 23. Músculos del cuerpo en la corteza motora	41
Figura 24. Lóbulos anatómicos del Cerebelo, vista lateral	42
Figura 25. Áreas somatosensitivas en el cerebelo.....	43
Figura 26. Relaciones anatómicas del sistema nervioso	45
Figura 27. Planos y Ejes.....	49
Figura 28. Movimiento artrocinemáticos 1.....	50
Figura 29. Movimiento artrocinemáticos 2.....	51
Figura 30. Fuerzas del musculoesquelético	53
Figura 31. Eventos en el ciclo de la marcha	65
Figura 32. Representación gráfica de los periodos de la marcha.....	69
Figura 33. Tipo de ECV.....	75
Figura 34. Tomografía Computarizada del cerebro.....	80
Figura 35. Tomografía Computarizada del encéfalo	81
Figura 36. Ventajas y desventajas de la rehabilitación robótica.....	88
Figura 37. Sistema Lokomat	94
Figura 38. Base de Datos	107

Resumen

El accidente cerebrovascular isquémico es un síndrome clínico de desarrollo rápido, el cual es considerado un episodio de déficit encefálico focal que aparece como consecuencia de una alteración circulatoria en el encéfalo. Dejando múltiples secuelas, principalmente en el sistema musculoesquelético, por lo que se ve afectada la marcha del paciente, creando en él discapacidad.

Esta investigación bibliográfica explica los efectos fisiológicos de la neurorehabilitación robótica activa con el uso de Lokomat en pacientes entre 50 a 60 años posterior a evento cerebrovascular isquémico. Planteando como objetivos, detallar los cambios fisiológicos que sufre el sistema musculoesquelético, explicar los efectos fisiológicos de la neurorehabilitación robótica e identificar los cambios en la locomoción de marcha por medio de la aplicación de la neurorehabilitación robótica con el uso de Lokomat.

La metodología empleada en esta investigación corresponde a un enfoque cualitativo, diseño no experimental, tipo de investigación descriptiva. Los resultados muestran que esta técnica otorga beneficios a nivel fisiológico, desarrollando la neuroplasticidad por medio de la repetición, creando un feedback en el paciente. Además, se observan mejoras en el patrón de marcha, aumentando su velocidad y la longitud de paso, por consiguiente, aumenta la distancia recorrida, haciendo al paciente más independiente.

Capítulo I

Marco Teórico

En el presente capítulo se profundizan los aspectos generales del evento cerebrovascular [ECV], siendo este la obstrucción de la circulación sanguínea del encéfalo. Se describen las estructuras afectadas, siendo las principales las que pertenecen al sistema nervioso central [SNC], detallando aspectos macroscópicos y microscópicos.

Una de las secuelas más frecuentes posterior a un accidente cerebrovascular en las personas que lo padecen es la alteración de la marcha, provocando en la población que lo padece discapacidad. Es por ello, que se puntualizan todos aquellos elementos involucrados en la marcha y se describen aspectos que involucran una marcha fisiológica.

Con el avance de la tecnología se ha logrado la creación de nuevas técnicas que facilitan el tratamiento y manejo de las secuelas que deja el ECV en las personas, la rehabilitación robótica es una de ellas. El Lokomat proporciona al paciente una reeducación de marcha robotizada creando en él, un biofeedback de una marcha fisiológica. Garantizando en el paciente la reincorporación a las actividades de la vida diaria y su independencia.

1.1 Antecedentes Generales

1.1.1 Descripción de la Problemática. El evento cerebrovascular isquémico [ECVI] es la principal causa de discapacidad en adultos en el mundo. Ocurre a consecuencia de la reducción del flujo sanguíneo en el cerebro, en el caso de ECV isquémico, debido al daño ocurrido, pueden existir secuelas severas, siendo algunas de ellas irreversibles. Los daños ocasionados por esta patología pueden reducirse o suprimirse, si se toman medidas rápidamente y se evalúa el daño causado por el mismo. (Moreno, 2019)

1.1.1.1 Epidemiología global del ECV. A nivel mundial, los accidentes cerebrovasculares son la principal causa de muerte en adultos mayores de 60 años. Recientemente fue registrada como la segunda causa principal de muerte a nivel mundial y la tercera causa principal de muerte en los países desarrollados, después de las enfermedades cardiovasculares y el cáncer. Un tercio de esas muertes ocurren en países desarrollados y los dos tercios restantes en países en vías de desarrollo, ocupa el primer lugar como causa de discapacidad y los sobrevivientes experimentan secuelas de diversa gravedad, el 30% presenta depresión leve, el 10% depresión severa, y el 30% presenta tendencias significativas a la demencia. (Alarco, 2009)

Se estima que 5,5 millones de personas mueren a causa de un accidente cerebrovascular en 2016. La incidencia de accidente cerebrovascular ha disminuido desde 1990, más del 80 % de los casos de accidente cerebrovascular ocurren en países de bajos ingresos, con una incidencia estimada de 117 casos por 10 mil años-persona, con un rango de 73 a 165 casos por 100 mil años-persona. (Ortiz, 2021)

1.1.1.2 Epidemiología centroamericana del ECV. En países de América Latina, se cuentan con muy pocos datos epidemiológicos registrados, sin embargo, se estima que es la tercera causa de la mortalidad general y que es una de las primeras causas de hospitalización, elevando así, el costo de insumos y equipo de salud. (Espinosa, 2019)

En países centroamericanos como Nicaragua, el MINSA en los años 2016 y 2017, reportó una mortalidad general con 931 y 1339 muertes, convirtiéndose en dichos años en la sexta y la quinta causa de mortalidad en general; correspondiendo a tasas de muerte específicas de 1.5 y 2.2 muertes por cada 10 mil habitantes cada año. (Martínez, 2021)

En Costa Rica, existe un número creciente de casos de mortalidad por ECV en la última década, variando de 929 muertes en 2009, mientras que en el año 2019 se observó un número creciente de casos siendo registradas 1470 muertes. (Pabón, 2021)

1.1.1.3 Epidemiología ECV en Guatemala. El ECV en Guatemala presenta una mortalidad en aumento. Por datos obtenidos del Departamento de Epidemiología del Ministerio de Salud Públicas y Asistencia Social [MSPAS]. La mortalidad por ECV ha aumentado desde 11 muertes por 100 mil habitantes en el 2008, hasta 21 muertes por 100 mil entre los años 2013 - 2014 y 18 muertes por cada 100 mil habitantes en 2017 y 2018, con tasas similares para hombres y mujeres (Véase Figura 1). (Cerón, 2021)

Los departamentos que presentaron una alta tasa de mortalidad entre los años 2017 y 2018 son Jutiapa, Zacapa, El Progreso, Baja Verapaz, Chiquimula, Guatemala, Santa Rosa,

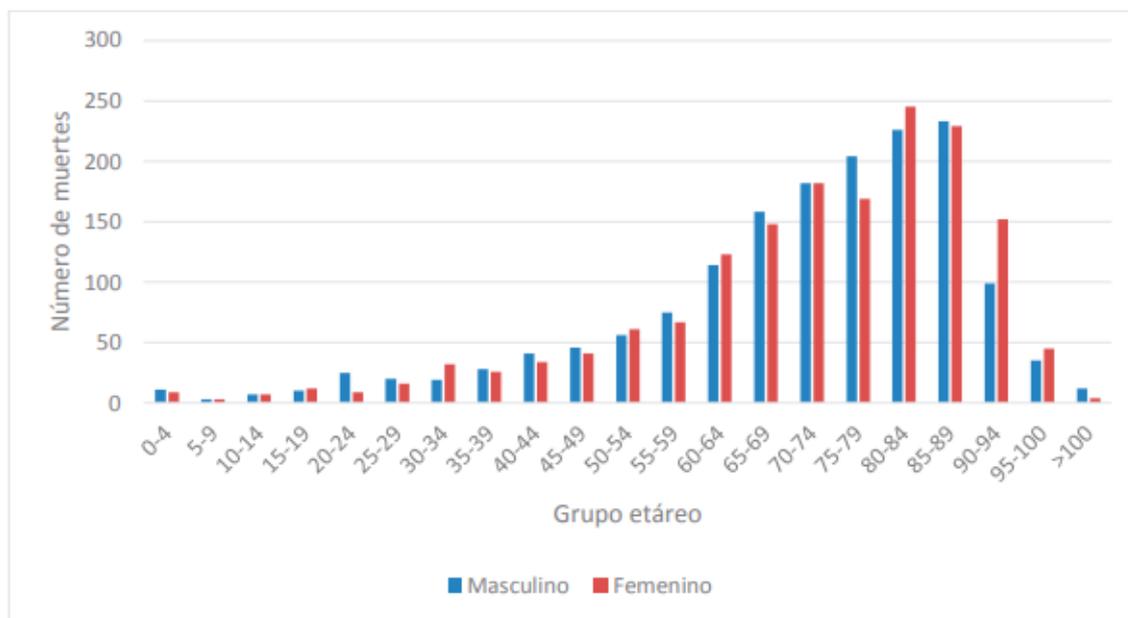


Figura 1. Muertes por ECV en Guatemala, por sexo y grupo etáreo, 2018.

Fuente: Cerón, 2021

1.1.2 Neuroanatomía del sistema nervioso central. El sistema nervioso está organizado para detectar cambios tanto en el medio interno como en el medio externo, recibe la información, evalúa y responde a determinado estímulo generado. (Romero, 2015)

1.1.2.1 Componentes microscópicos del SNC. Los componentes microscópicos del sistema nervioso central son:

1.1.2.1.1 La neurona. Según Tortora (2006), la neurona es la unidad funcional del sistema nervioso, son células excitables y especializadas en la recepción de estímulos y la conducción del impulso nervioso. El estímulo es cualquier cambio en el medio ya sea

interno o externo lo suficientemente significativo para iniciar un potencial de acción como respuesta a este estímulo. El potencial de acción o impulso nervioso es una señal eléctrica que viaja a lo largo de la superficie de la membrana plasmática de una neurona.

La neurona está compuesta por: Un cuerpo o soma, el cual contiene un núcleo rodeado por citoplasma, en el que se encuentran orgánulos celulares como los lisosomas, las mitocondrias y el complejo de Golgi. El cuerpo contiene ribosomas libres y condensaciones del retículo endoplasmático rugoso, denominadas cuerpos de Nissl (Véase Figura 2).

Las dendritas conforman la porción receptora o de entrada de una neurona. Las membranas plasmáticas de las dendritas y de los cuerpos celulares contienen cuantiosos sitios receptores para la fijación de mensajeros químicos provenientes de otras células. El axón es el encargado de la propagación de los impulsos nerviosos hacia otra neurona, una fibra muscular o una célula glandular. El axón es una proyección cilíndrica larga y fina que generalmente se une con el cuerpo o soma de la neurona.

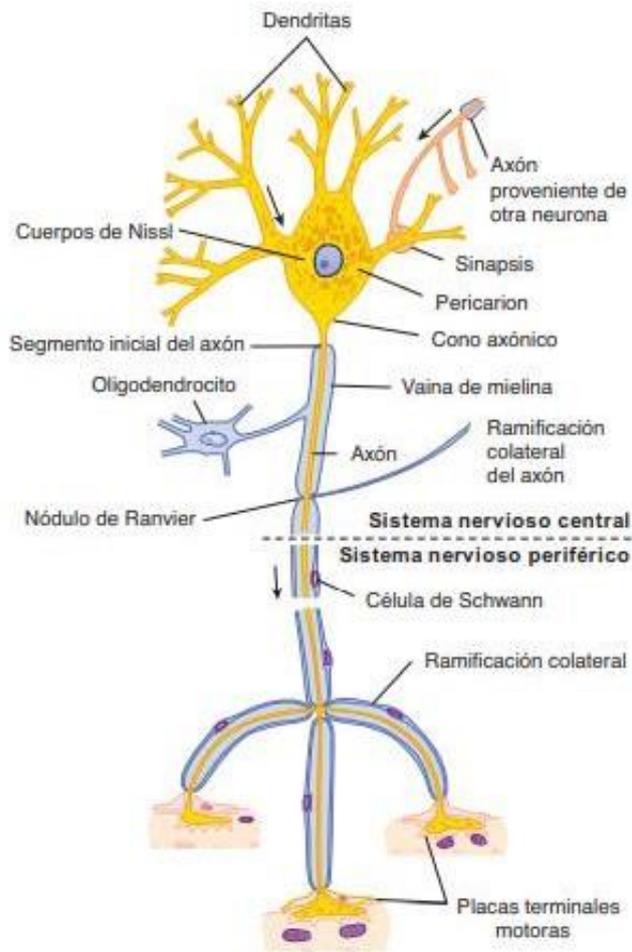


Figura 2. Partes de la neurona

Fuente: Tortora, 2006

Las neuronas varían en cuanto a su estructura y funcionalidad, por lo cual se clasifican en:

Clasificación según su estructura: Número de prolongaciones que emergen de su cuerpo celular.

- Neuronas multipolares poseen varias dendritas y un axón. La mayoría de las neuronas que se encuentran situadas en el encéfalo y en la médula espinal son de este tipo, neuronas motoras.

- Neuronas bipolares poseen una dendrita principal y un axón. Se pueden encontrar en la retina del ojo, en el oído interno y en el área olfatoria del encéfalo.
- Neuronas unipolares poseen dendritas y un axón que se agrupan para formar una prolongación continua que surge del cuerpo celular de la neurona (Véase Figura 3). (Tortora, 2006)

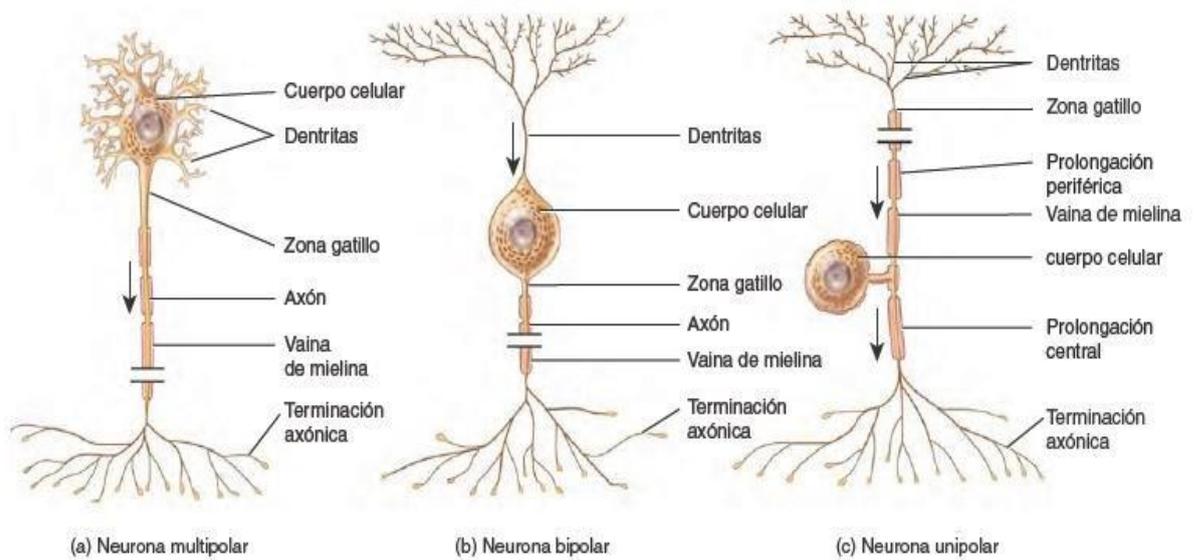


Figura 3. Clasificación estructural de la neurona.

Fuente: Tortora, 2006

Clasificación según su función: Dirección en la que se transfiere el impulso nervioso con respecto al SNC.

- Neuronas sensitivas o aferentes: Según Tortora, 2006 las neuronas sensitivas poseen receptores sensitivos en sus extremos distales, son células separadas. Cuando un estímulo adecuado activa a un receptor sensitivo, la neurona sensitiva genera un potencial de acción en su axón y éste es transferido al SNC, a través de

los nervios craneales o espinales. En su mayoría, las neuronas sensitivas tienen una estructura unipolar.

- **Neuronas motoras o eferentes:** Transmiten sus potenciales de acción lejos del SNC hacia los órganos efectores como músculos y glándulas en el sistema nervioso periférico a través de los nervios craneales y espinales. Las neuronas motoras tienen una estructura multipolar.
- **Interneuronas o neuronas de asociación:** Están localizadas dentro del SNC, entre las neuronas sensitivas y motoras. Las interneuronas procesan la información sensitiva generada por un estímulo el cual proviene de las neuronas sensitivas y consecuente a esto se produce una respuesta motora, al activar las neuronas motoras adecuadas. En su mayoría las interneuronas presentan una estructura multipolar.

1.1.2.1.2 La Neuroglia. También llamada glía representa alrededor de la mitad del volumen del SNC, es aproximadamente cinco veces más abundante que las neuronas. La glía está compuesta por células no neuronales ni excitables que constituyen el mecanismo principal del tejido nervioso, con las funciones de apoyar, aislar o nutrir a las neuronas. (Moore, 2018)

En el SNC, la neuroglia incluye las siguientes células (Véase Figura 4):

- **Astrocitos:** Son células con forma de estrella, poseen muchas prolongaciones celulares y son las más largas y numerosas de la neuroglia. Cumple diversas funciones en el SNC, tales como, por su constitución de microfilamentos, brinda una resistencia considerable y permite sostener a las neuronas. Favorece a mantener las condiciones químicas propicias para la reproducción de impulsos nerviosos.

Desempeñan una función importante en el proceso de aprendizaje y en la memoria, por medio de la influencia que ejercen sobre la formación de las sinapsis. (Rouvière, 2005)

- **Oligodendrocitos:** Según Tortora, 2006 estas células son parecidas a los astrocitos, pero de un tamaño más pequeño y contienen menores cantidades prolongaciones. Las prolongaciones de los oligodendrocitos son los encargados de la formación y mantenimiento de la vaina de mielina que se ubica alrededor de los axones del SNC.
- **Microglía:** Células pequeñas con prolongaciones delgadas que emiten cuantiosas proyecciones con forma de espinas. La microglía cumple con una función fagocíticas, eliminando los desechos celulares que se forman durante el desarrollo normal del sistema nervioso, fagocita microorganismos y tejido nervioso dañado.
- **Células Ependimarias:** Las células ependimarias tienen una forma cuboide o cilíndrica y están distribuidas en una monocapa con microvellosidades y cilios. Estas células revisten los ventrículos cerebrales y el canal central de la médula espinal en los espacios en los que está contenido el líquido cefalorraquídeo, el cual protege y nutre al encéfalo y la médula. Las células ependimarias producen, monitorizan, y favorecen a la circulación del líquido cefalorraquídeo.

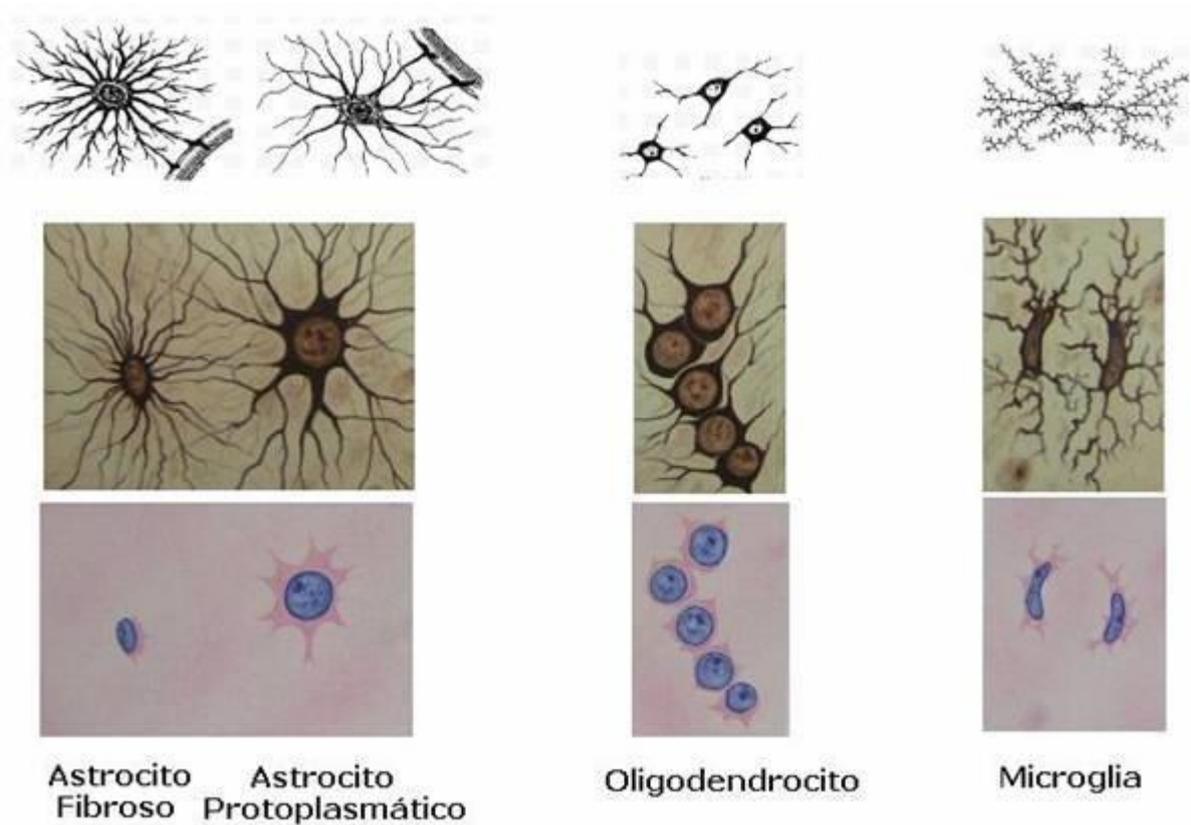


Figura 4. Histología de las células gliales.

Fuente: Rouvière, 2005

1.1.2.2 Componentes macroscópicos del SNC. Según Tortora, 2006 el sistema nervioso, pesa alrededor de 2 kg representa aproximadamente alrededor del 3% del peso corporal total. Este sistema es uno de los más complejos, organizándose en dos subdivisiones principales: el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico.

El mismo autor refiere que el SNC, está conformado por el encéfalo y la médula espinal. El encéfalo está ubicado en el cráneo y la médula espinal está conectada con el encéfalo mediante el foramen magno que pertenece al hueso occipital, y esta estructura está protegida por la columna vertebral.

1.1.2.2.1 El cráneo. Según Rouvière, 2005 el cráneo es el esqueleto de la cabeza, varios huesos forman sus dos partes: el neurocráneo y el viscerocráneo (Véase Figura 5). El neurocráneo es la caja ósea del encéfalo, la cual está conformada por ocho huesos: cuatro impares y centrados; frontal, etmoides, esfenoides y occipital, y dos pares bilaterales; temporal y parietal. (Moore, 2013)

El neurocráneo tiene una forma similar a una cúpula, la cual es denominada calvaria o bóveda craneal, y un suelo o base del cráneo. Los huesos que forman el conjunto de la calvaria son el frontal, parietal y occipital. La base del cráneo, la conforman huesos irregulares como el esfenoides y los temporales. Los huesos de la calvaria, en su mayoría están unidas por suturas fibrosas, aunque en la infancia están unidas por cartílago hialino.

El viscerocráneo es el esqueleto facial, este comprende quince huesos irregulares: tres huesos impares, situados en la línea media; mandíbula, etmoides y vómer, y seis huesos pares; maxilares, cornetes, nasales inferiores, cigomáticos, palatinos, nasales y lagrimales. Varios de los huesos del cráneo son denominados neumatizados, lo que quiere decir que contiene espacios aéreos, lo cual permite reducir su peso, esto son: frontal, temporales, esfenoides y etmoides. (Moore, 2013)

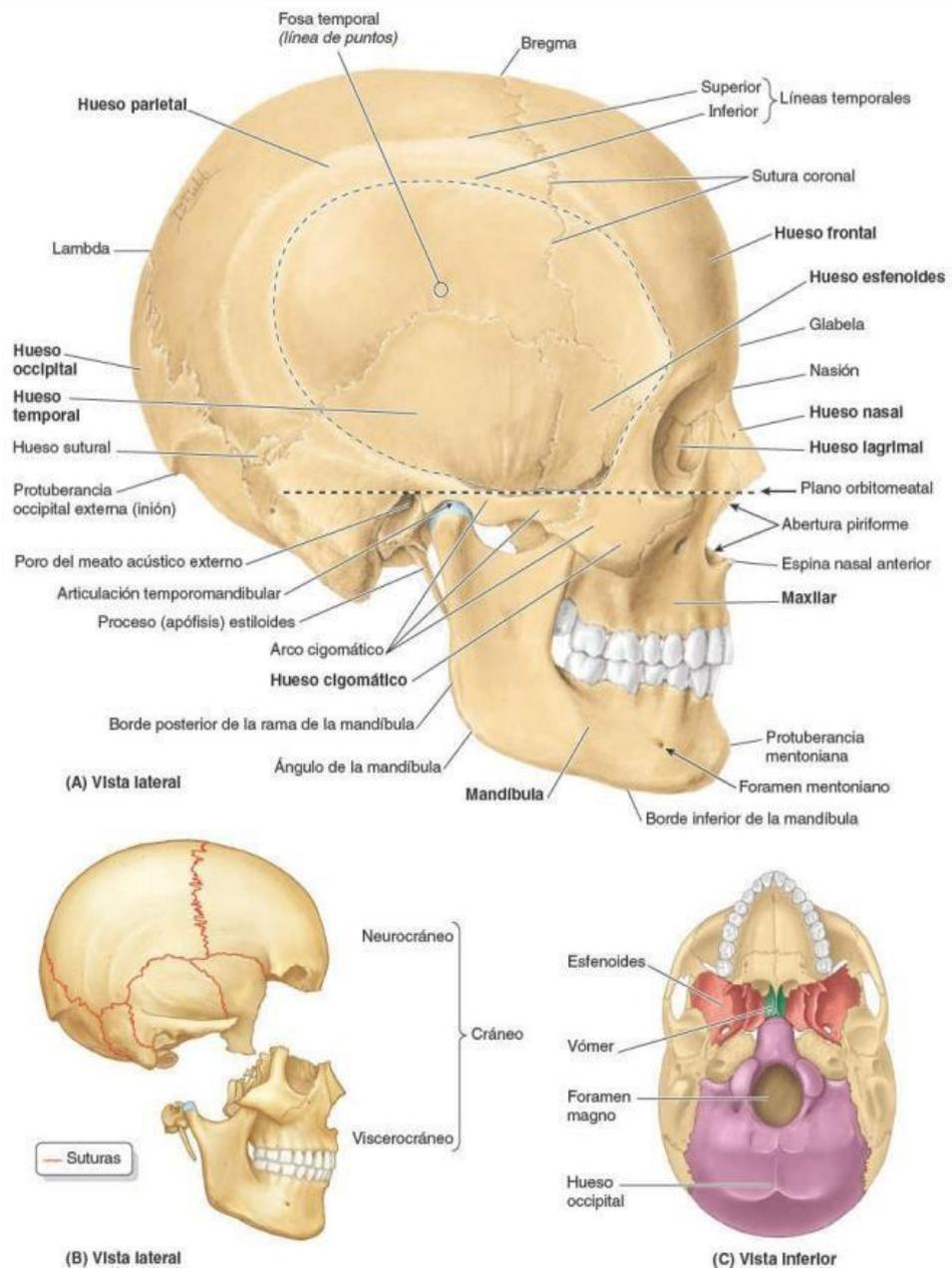


Figura 5. Cráneo Adulto, Vista: Lateral e Inferior

Fuente: Moore, 2017

1.1.2.2.2 Las Meninges. Según Moore, 2018 El encéfalo posee unas coberturas membranosas las cuales se denominan meninges craneales. Estas se encuentran dentro del cráneo, son encargadas de proteger al encéfalo, brindan soporte a arterias, venas y senos

venosos y poseen una cavidad llena de líquido [el espacio subaracnoideo], el cual es importante para el correcto funcionamiento del encéfalo.

Las meninges están divididas en tres capas de tejido conectivo membranoso (Véase Figura 6):

- **Duramadre:** También es llamada paquimeninge, está adherida a la cavidad interna de la calvaria. Se divide en dos capas; una capa perióstica externa [formada por el periostio que cubre la superficie interna de la calvaria], y una capa meníngea interna que se continúa con el foramen magno.
- **Aracnoides:** Esta es avascular, se encuentra inferior a la duramadre, y se mantiene unida a ella, gracias a la presión que ejerce el líquido cefalorraquídeo [LCR] en el espacio subaracnoideo.
- **Piamadre:** Es una membrana fina, aún más que la aracnoides, se encuentra vascularizada por una red de finos vasos sanguíneos. Es difícil de ver, pero le brinda un aspecto brillante al encéfalo, esta se adhiere a él y sigue todos sus contornos. (Moore 2013)

La aracnoides y la piamadre reciben en conjunto el nombre de leptomeninge, entre ellas se encuentra el líquido cefalorraquídeo, este espacio ayuda a mantener un balance. El LCR, es el encargado de dar nutrientes a las estructuras encefálicas. (Moore, 2013)

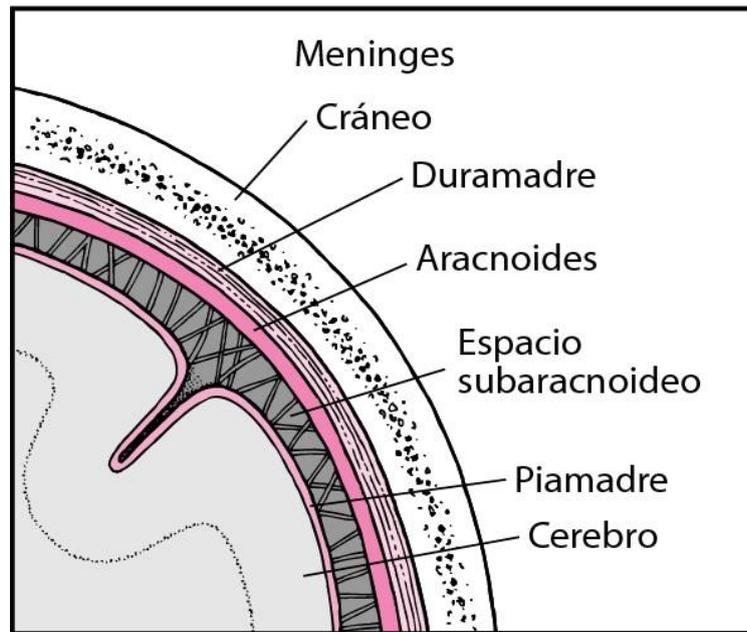


Figura 6. Meninges y relación con el calvario, el encéfalo

Fuente: Greenlee, 2020

El encéfalo es un conjunto de partes, las cuales son: cerebro, cerebelo y tronco del encéfalo (Véase Figura 7). En la profundidad del cráneo, al quitar la calvaria y duramadre, se visualiza a través de la delgada aracnoides - piamadre, las circunvoluciones, surcos y fisuras de la corteza cerebral. (Rouvière, 2005)

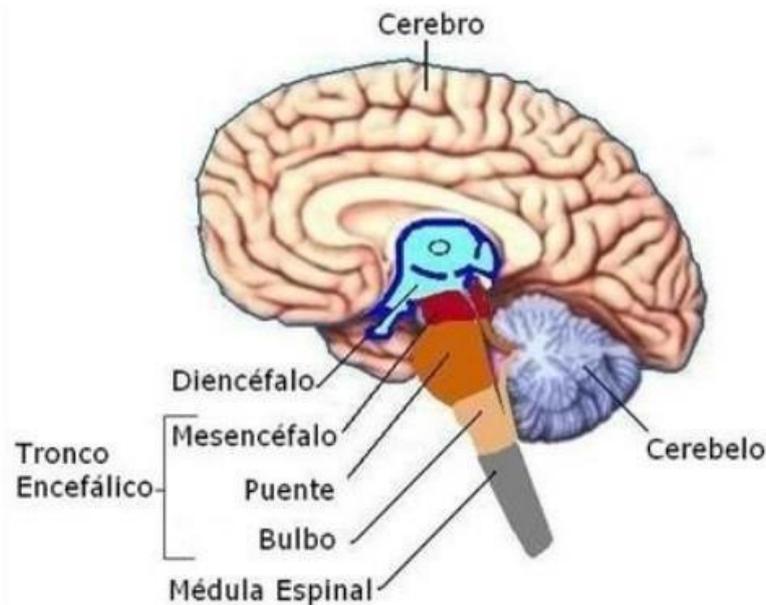


Figura 7. Partes del encéfalo

Fuente: Rouvière, 2005

1.1.2.2.3 Cerebro. Conformado por los hemisferios cerebrales y los núcleos basales. Los hemisferios están divididos por la hoz del cerebro dentro de la fisura longitudinal del cerebro. Cada hemisferio se divide en cuatro lóbulos, cada uno de ellos está relacionado con los huesos del cráneo, aunque no coinciden con su ubicación exacta. (Rouvière, 2005)

El cerebro está dividido en cuartos (Véase Figura 8), si se observa desde una vista superior, esto gracias a la fisura media longitudinal del cerebro y el surco central coronal. El surco central coronal divide los lóbulos frontales, de los lóbulos parietales. Si se observa desde una vista lateral, tanto los lóbulos frontales como los parietales, son superiores al surco lateral transversal, por debajo de este surco se ubica el lóbulo temporal. Los lóbulos occipitales, están ubicados en la parte posterior del cerebro, y están separados de los lóbulos parietales y temporales, por el surco parietooccipital. (Rouvière, 2005)

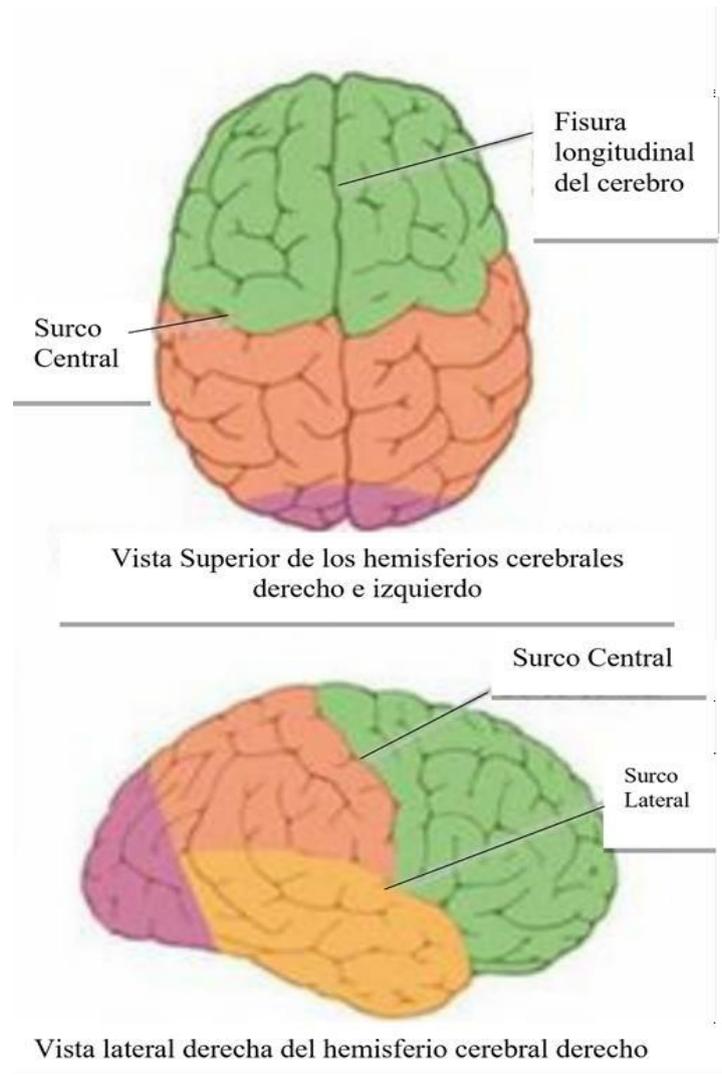


Figura 8. Lóbulos y Surcos del Cerebro

Fuente: Moore, 2013

“Los hemisferios ocupan toda la cavidad supratentorial del cráneo. Los lóbulos frontales ocupan las partes laterales de la fosa craneal media, y los lóbulos occipitales se extienden posteriormente sobre el tentorio del cerebelo”. (Moore, 2013, p. 878)

1.1.2.2.4 Diencéfalo y Tronco del encéfalo. Según Moore, 2018 la porción central del cerebro está formado por el diencéfalo, el cual es un conjunto de estructuras las cuales son:

el epítalamo, el tálamo y el hipotálamo. Inferior a este, se encuentra el tronco del encéfalo, el cual está conformado por las siguientes estructuras (Véase Figura 9):

- **Mesencéfalo:** Es la parte superior del tronco del encéfalo, se encuentra en la unión de las fosas craneales media y posterior. Tiene relación con los nervios craneales III y IV.
- **Puente:** Ubicado entre el mesencéfalo y la médula oblongada, está relacionado con el nervio craneal V.
- **Médula Oblongada:** Es la porción más inferior del tronco del encéfalo y esta se continúa con la médula espinal, se ubica en la fosa craneal posterior. Los nervios craneales que se relacionan con esta estructura son: IX, X y XIII.

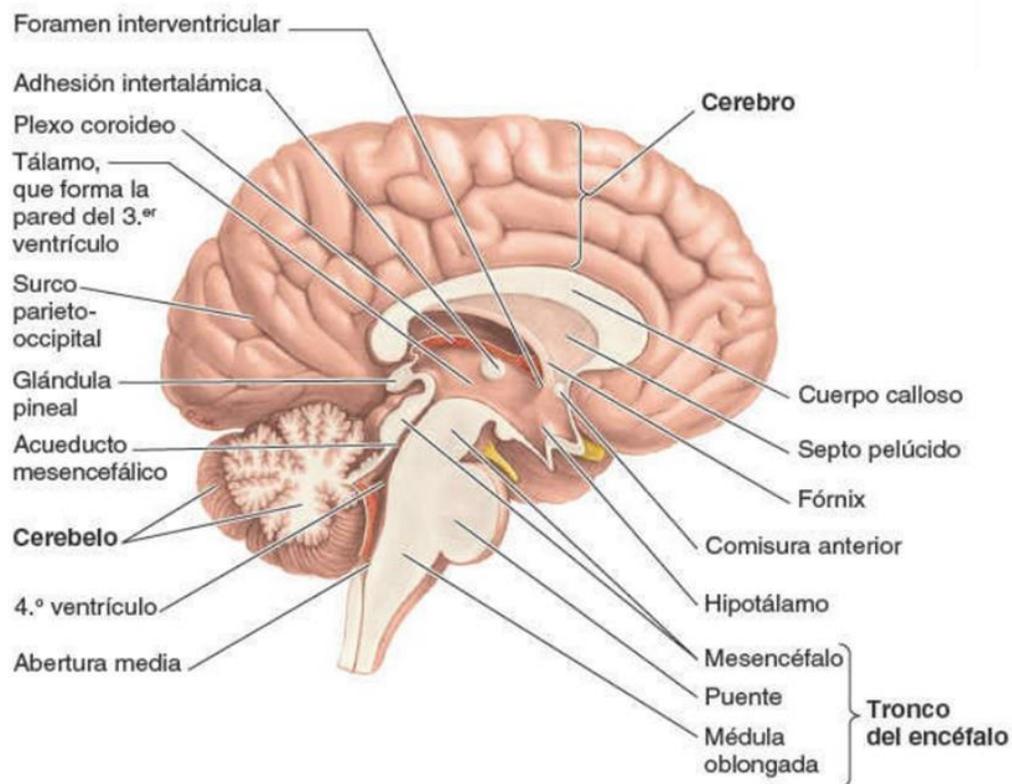


Figura 9. Vista medial del lado izquierdo del encéfalo

Fuente: Moore, 2013

1.1.2.2.5 Cerebelo. Es una masa encefálica que se encuentra posterior al puente y a la médula oblongada, se ubica inferior a la porción posterior del cerebro y por debajo del tentorio del cerebelo en la fosa craneal posterior. Se dividen en dos hemisferios laterales, los cuales están unidos por el vermis. (Moore, 2018)

1.1.2.2.6 Medula Espinal. Posee una estructura cilíndrica y ligeramente aplanada anteroposteriormente, es el principal centro reflejo, ya que comunica el encéfalo con el cuerpo. La médula espinal está protegida por las siguientes estructuras: vertebrales, ligamentos, músculos asociados, meninges y LCR (Véase Figura 10). Esta inicia como continuación de la médula oblongada y finaliza por debajo de T12 o L3. En una persona adulta tiene una longitud de 42 a 45 centímetros. (Moore, 2018)

Está presente dos abultamientos: la intumescencia cervical y la intumescencia lumbosacra. La primera de estas tiene una extensión del segmento C4 hasta T1, y la segunda tiene una extensión de T11 hasta S1. Posterior a este nivel medular, la médula se adelgaza y forma el cono medular. De las intumescencias se obtienen los plexos braquial, lumbar y sacro. (Moore, 2018)

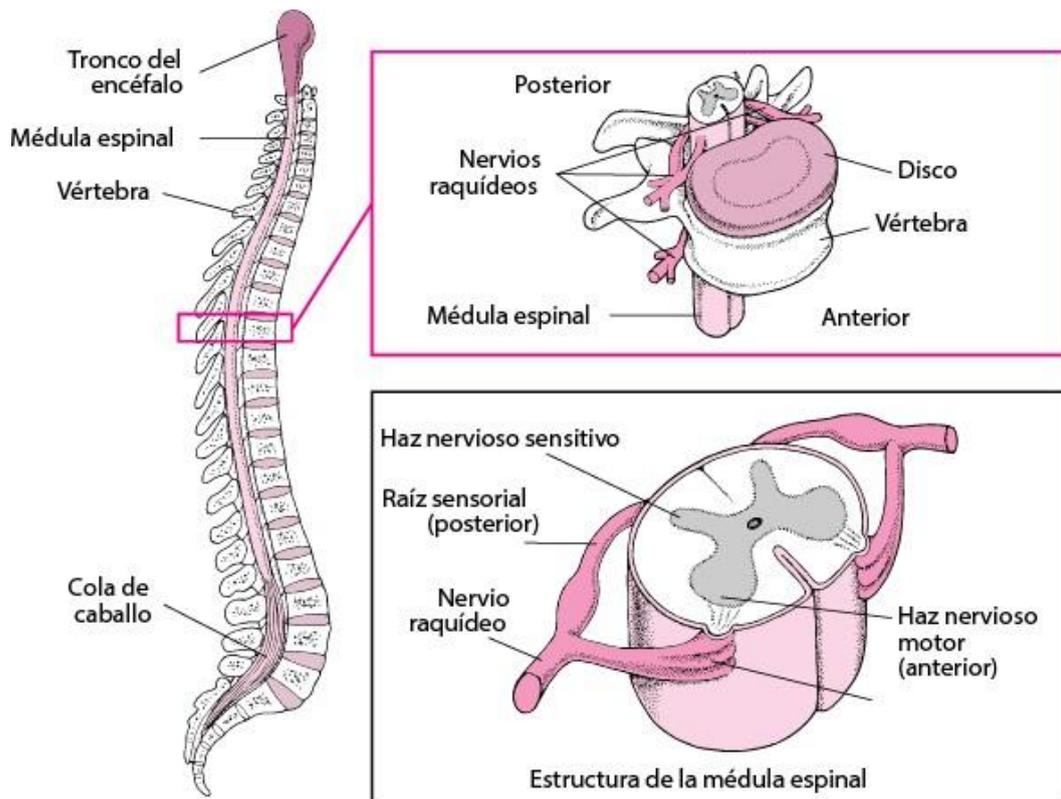


Figura 10. Columna vertebral, médula espinal

Fuente: Maiese, 2021

1.1.2.4 Vascularización del SNC. Según Moore, 2014 el peso del encéfalo es de tan sólo 2.5% del peso corporal humano, sin embargo, este recibe un aproximado de la sexta parte del gasto cardíaco y una quinta parte del oxígeno, que consume una persona en reposo. Mientras tanto, el drenaje venoso, lo realizan las venas cerebrales y cerebelosas, están drenados en los senos venosos.

1.1.2.4.1 Vascularización del encéfalo. El mismo autor refiere que el peso del encéfalo es de tan sólo 2.5% del peso corporal humano, sin embargo, este recibe un aproximado de la sexta parte del gasto cardíaco y una quinta parte del oxígeno, que consume una persona en reposo. Mientras tanto, el drenaje venoso, lo realizan las venas cerebrales y cerebelosas, están drenados en los senos venosos.

La irrigación arterial: “Las arterias carótidas internas se originan en el cuello a partir de las arterias carótidas comunes. La porción cervical de cada arteria asciende verticalmente a través del cuello, sin ramificarse hasta la base del cráneo. Penetra en la cavidad craneal a través del conducto carotídeo en la porción petrosa del hueso temporal” (Véase Figura 11). (Moore, 2013, p. 822)

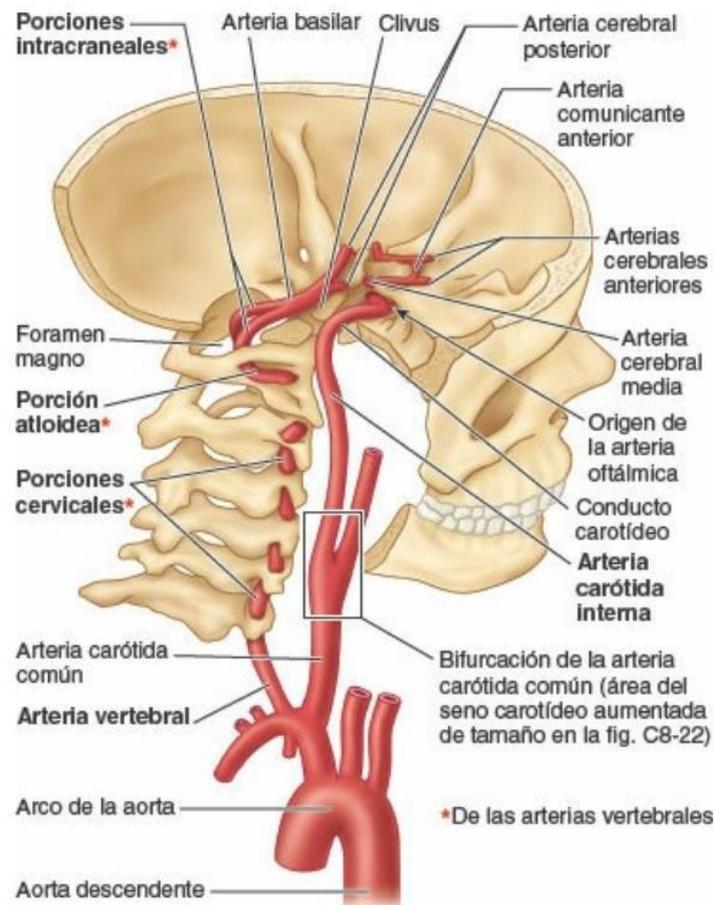


Figura 11. Arterias que irrigan el encéfalo.

Fuente: Moore, 2017

Dentro del conducto carotídeo se encuentran los plexos venosos y plexos carotídeos de nervios simpáticos. La arteria carótida interna pasa anterior por medio del seno cavernoso,

en conjunto con el nervio abducens. Las ramas terminales de esta arteria son las arterias cerebrales anterior y media. (Moore, 2013)

Las primeras ramas de las arterias subclavias son las arterias vertebrales, las cuales inician en la raíz del cuello, siendo estas las porciones prevertebrales de las arterias vertebrales. Las arterias cerebrales suelen tener diferente tamaño o calibre, siendo mayor la arteria vertebral izquierda (Véase Figura 12).

A nivel del atlas, las porciones atloideas de las arterias vertebrales, atraviesan la duramadre, aracnoides y el foramen magno. Las porciones intracraneales de las arterias vertebrales realizan un conjunto en el borde inferior del puente, formando así la arteria basilar. (Moore, 2018)

La arteria basilar recibe ese nombre gracias a su relación con la base del cráneo. El recorrido de esta arteria inicia con su ascenso por el clivus, que es la superficie inclinada desde el dorso de la silla hasta el foramen magno, continúa por la cisterna pontocerebelosa y finaliza en el borde superior del puente. Finalmente se dividen en dos arterias cerebrales posteriores. (Moore, 2018)

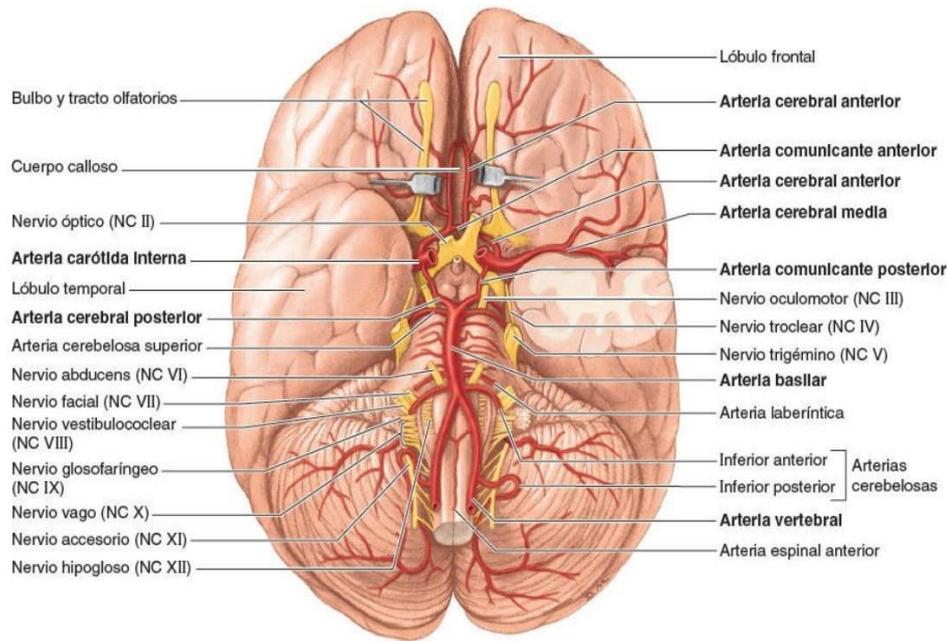


Figura 12. Vista Inferior del encéfalo.

Fuente: Moore, 2017

En la superficie ventral del encéfalo, existe un círculo arterial de Willis, denominado también Polígono de Willis, (Véase Figura 13), el cual recibe este nombre gracias a su forma pentagonal. Esta estructura es importante ya que en ella se anastomosan en la base del encéfalo las cuatro arterias (dos vertebrales y dos carótidas internas, que irrigan el encéfalo) (Véase Tabla 1). Estas arterias a su vez, derivan numerosas ramas arteriales al encéfalo. (Moore, 2013)

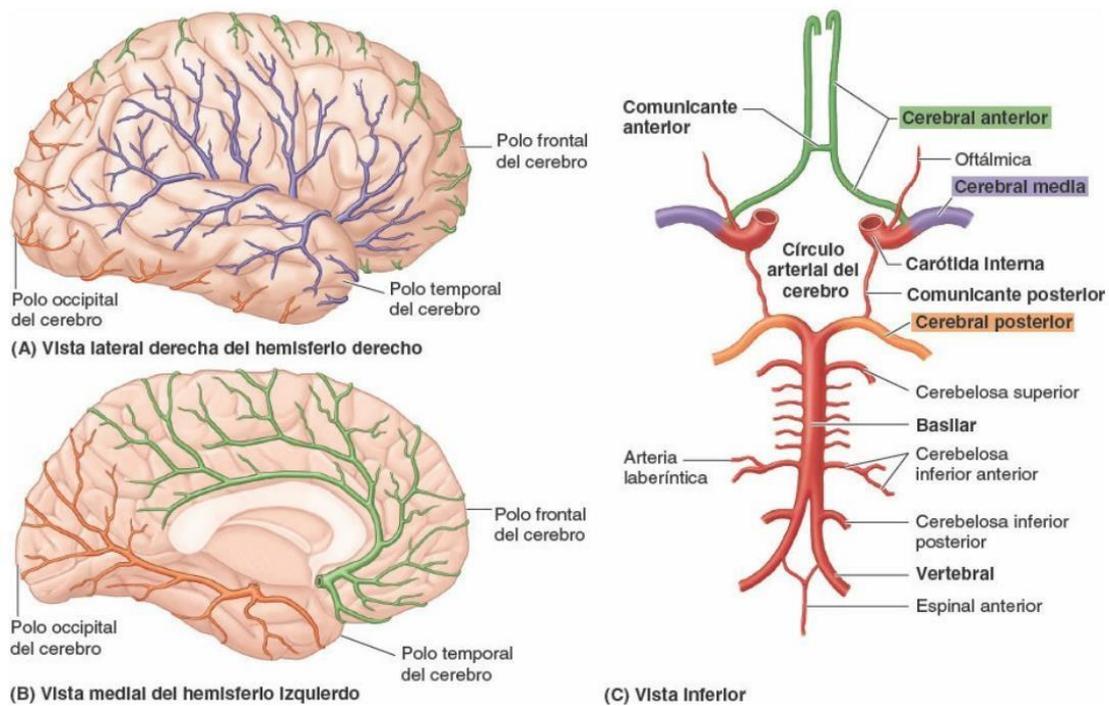


Figura 13. Polígono de Willis

Fuente: Moore, 2017

Tabla 1. Irrigación Arterial de los hemisferios cerebrales.

Arteria	Origen	Distribución
Carótida Interna	Arteria carótida común, en el borde superior del cartílago tiroides	Proporciona ramas para las paredes del seno cavernoso, la hipófisis y el ganglio del trigémino; es el principal aporte sanguíneo al encéfalo
Cerebral Anterior	Arteria carótida interna	Hemisferios cerebrales, salvo los lóbulos occipitales
Comunicante anterior	Arteria cerebral anterior	Círculo arterial del cerebro (de Willis)
Cerebral media	Continuación de la arteria carótida interna distal a la arteria cerebral anterior	La mayor parte de la cara lateral de los hemisferios cerebrales
Vertebral	Arteria subclavia	Meninges craneales y cerebelo
Basilar	Formada por la unión de las arterias vertebrales	Tronco del encéfalo, cerebelo y cerebro
Cerebral posterior	Rama terminal de la arteria basilar	Cara inferior del hemisferio cerebral y lóbulo occipital
Comunicante posterior	Arteria cerebral posterior	Tracto óptico, pedúnculo cerebral, cápsula interna y

Fuente: Moore, 2013, p. 885

Las venas que se encargan del drenaje del cerebro son delgadas, se encuentran en binas y no poseen valvular. Estas perforan la aracnoides y la duramadre, desembocando en los senos venosos de la duramadre más próxima, a su vez, la mayor parte del drenaje se realiza en las yugulares internas (Véase Figura 14).

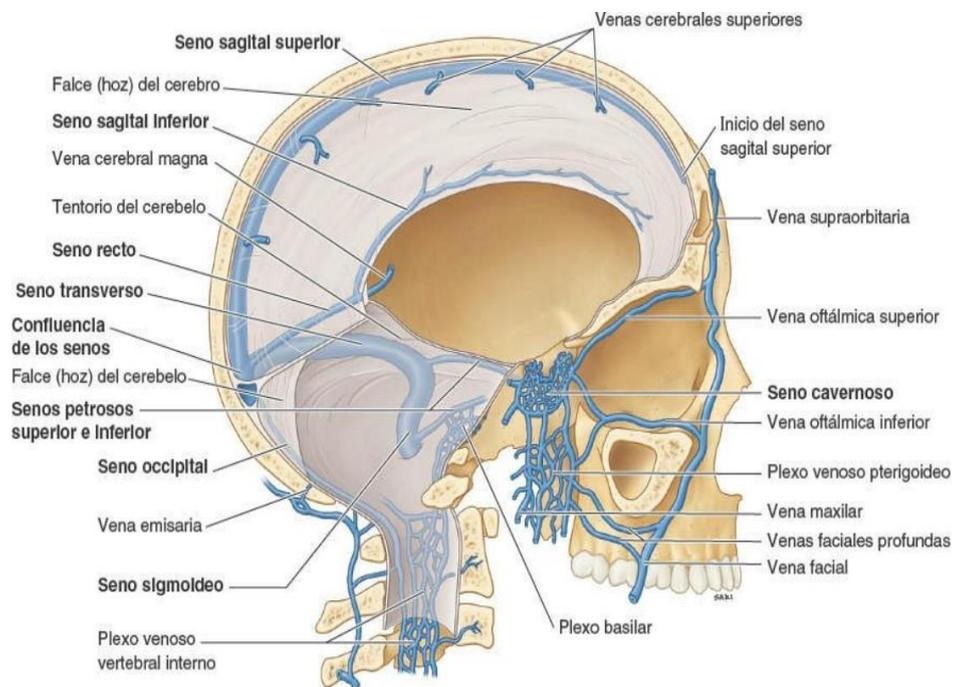


Figura 14. Drenaje venoso del encéfalo

Fuente: Moore, 2017

Tabla 2. Drenaje venoso del encéfalo

Venas	Ubicación	Hacia donde Drenan
Cerebrales superiores	Cara superolateral del encéfalo	Seno sagital superior
Cerebrales inferiores	Superficies inferior, posteroinferior y profunda de los hemisferios cerebrales	Senos recto, transverso y petroso superior
Cerebrales medias	Superficies inferior, posteroinferior y profunda de los hemisferios cerebrales	Senos recto, transverso y petroso superior
Cerebral magna (de Galeno)	Situada en la línea media	Seno recto (ya que esta se forma por la unión de dos venas cerebrales internas y finaliza al unirse con el seno sagital)
Cerebelosas superior e inferior	En ambas caras del cerebelo	Drenan las caras respectivas del cerebelo, desembocan en los senos transversos y sigmoideo

Elaboración propia con información extraída de Moore, 2013

1.1.2.4.2. *Vascularización de la Médula Espinal.* Según Rouvière, 2005 La médula espinal, posee una irrigación proveniente de las arterias vertebrales, arterias cervicales ascendentes, arterias cervicales profundas, arterias intercostales, lumbares y sacras laterales (Véase Figura 15).

El mismo autor refiere que las arterias longitudinales irrigan la médula espinal: una arteria espinal anterior y dos arterias espinales posteriores. El recorrido de estas arterias transcurre longitudinal a la médula oblongada del tronco del encéfalo y finaliza en el cono medular.

La arteria espinal anterior, se encuentra constituida por la vinculación de las ramas de las arterias vertebrales, recorre caudalmente la fisura media anterior. Las arterias surcales nacen de la arteria espinal anterior e ingresan en la médula espinal a través de esta fisura,

dichas arterias, se encargan de la irrigación de dos tercios del área transversal de la médula espinal. De la arteria cerebelosa inferior posterior, nacen las arterias espinales posteriores, estas forman conductos anastomóticos en la piamadre. (Moore, 2013)

Sin embargo, las arterias espinales anterior y posterior, irrigan solo parte cefálica de la médula espinal. La gran circulación de la médula espinal depende de las arterias medulares segmentarias y radicales que transcurren a lo largo de las raíces de los nervios espinales. Ambas arterias proceden de las ramas espinales de las arterias cervicales ascendentes, cervicales profundas, vertebrales, intercostales posteriores y lumbares. (Moore, 2013)

Las arterias medulares segmentarias se relacionan principalmente con las intumescencias cervical y lumbosacra, esto debido a que en estas zonas existe mayor necesidad de aporte sanguíneo. Estas arterias, ingresan en el conducto vertebral por medio de los forámenes intervertebrales. (Moore, 2013)

Una arteria de gran tamaño, la arteria medular segmentaria, también denominada de Adamkiewicz, se encuentra ubicada en el lado izquierdo en aproximadamente el 65% de las personas. Esta refuerza la vascularización en dos terceras partes de la médula espinal. Esta arteria nace a partir de la rama espinal de una arteria intercostal inferior o lumbar superior, y entra en el conducto vertebral por medio del foramen intervertebral a nivel torácico inferior o lumbar superior.

Las arterias radicales posterior y anterior, vascularizan a las raíces anterior y posterior de los nervios espinales. Sin embargo, las arterias radicales no abordan a las arterias espinales anterior o posterior, en aquellas áreas donde estas arterias no llegan, las arterias

medulares segmentarias se encargan de que el riego sanguíneo abarque estos sitios. Las arterias radiculares son pequeñas y solo irrigan las raíces nerviosas, en la mayoría de los casos. Algunas excepciones de estas arterias pueden contribuir a la irrigación de partes superficiales de la sustancia gris. (Moore, 2018)

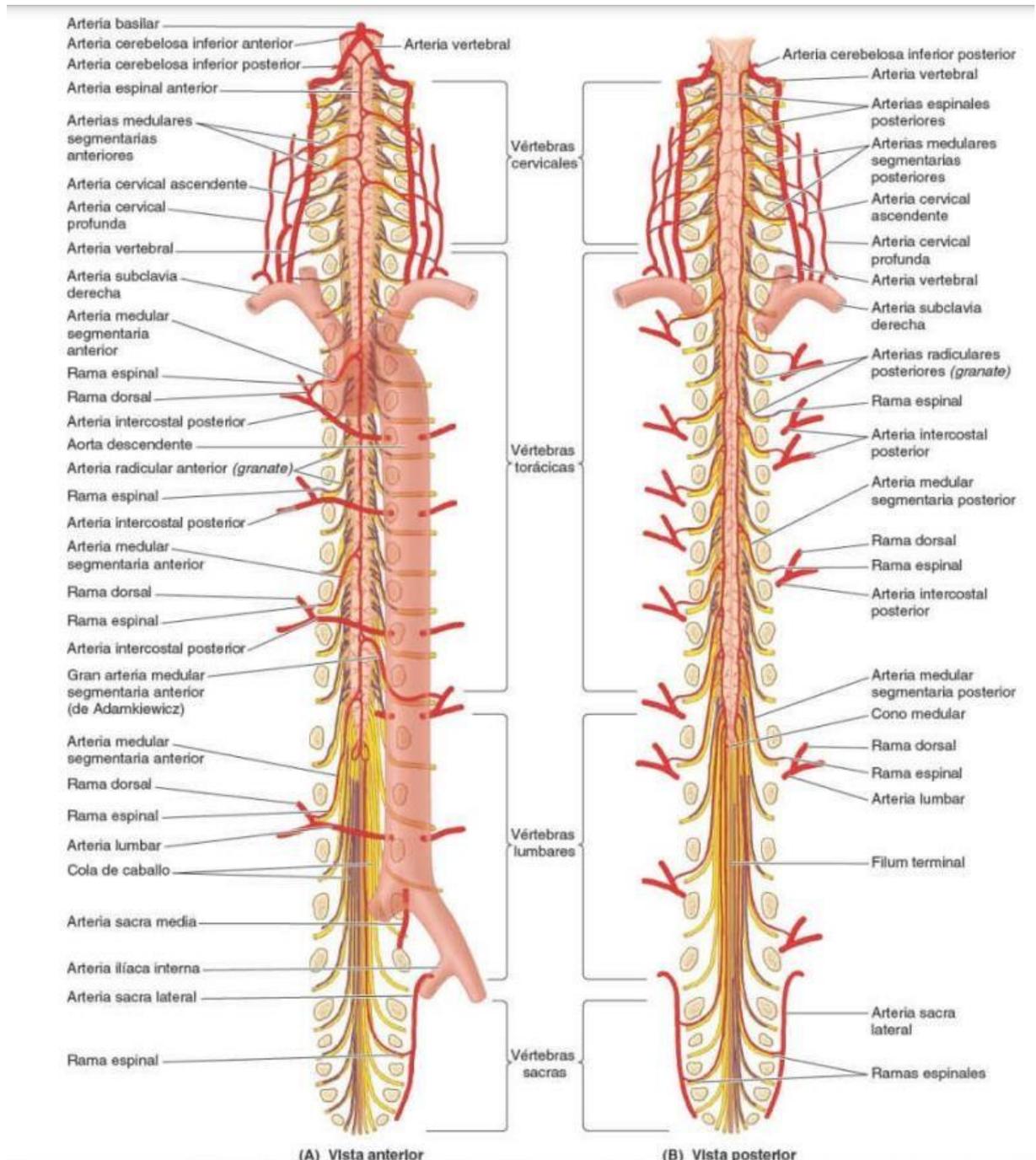


Figura 15. Vascularización arterial de la médula espinal.

Fuente: Moore, 2017

Las venas de la médula espinal poseen un reparto parecido al de las arterias espinales, dividiéndose en tres venas espinales anteriores y tres posteriores. Estas se ubican longitudinalmente, comunicándose libremente entre sí y drenando 12 venas medulares anteriores y posteriores y venas radiculares aproximadamente. (Rouvière, 2005)

Las venas de la médula espinal se vinculan a los plexos venosos vertebrales internos [epidurales] estos pasan cefálicamente por medio del foramen magno para comunicarse con los senos duros y las venas vertebrales en el cráneo De la misma forma, los plexos venosos internos se comunican con los plexos venosos vertebrales externos sobre la superficie externa de las vértebras (Véase Figura 16). (Rouvière, 2005)

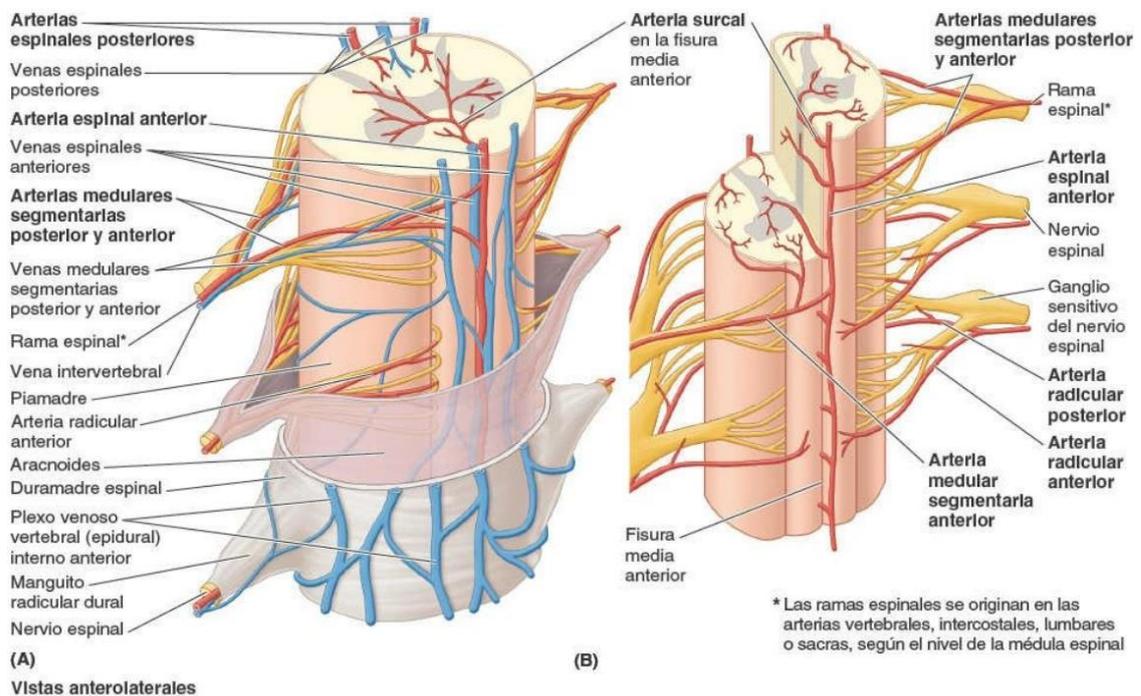


Figura 16. Irrigación arterial de la médula espinal.

Fuente: Moore, 2017

1.1.2.5 Vías sensoriales y motoras.

1.1.2.5.1 Vías sensitivas. Según Crossman, 2015 la información sensorial captada del medio interno y externo se transmite al sistema nervioso central mediante fibras nerviosas aferentes que circulan en los nervios craneales y espinales. La información confidencial se puede dividir en "Sensibilidad especial" y "Sensibilidad general". Todas las sensibilidades específicas, las sensibilidades de los sentidos, son conducidas por los nervios craneales, incluidos el olfato (nervio craneal I), la visión (II), el gusto (VII y IX) y las funciones auditiva y vestibular (VIII).

La sensibilidad general (Véase Figura 17), incluye todas las formas de tacto, presión, dolor y temperatura (transmitidos por los exterreceptores e interreceptores, encontrados en la piel y vísceras), así como la conciencia de la postura y el movimiento (transmitidos por los propioceptores los cuales encontramos en las articulaciones, tendones y músculos).

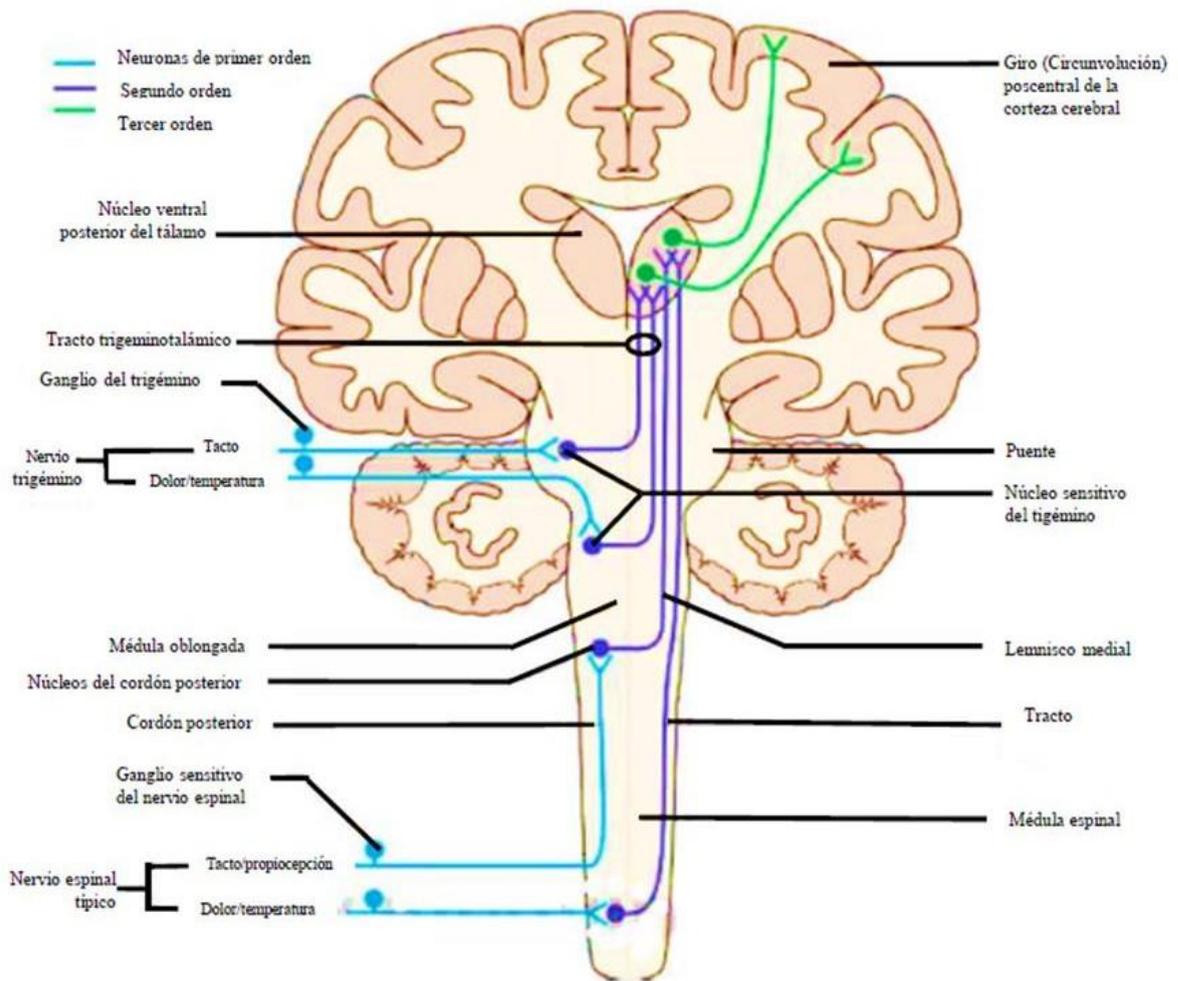


Figura 17. Vías principales de la sensibilidad general.

Fuente: Crossman, 2015

Para todas las formas del grupo de sensibilidad general, existen tres secuencias neuronales entre los receptores sensoriales ubicados en la periferia y la percepción sensorial a nivel de la corteza cerebral. (Crossman, 2015)

- Neurona de primer orden o neurona aferente primaria: Ingresa en la médula espinal a través de un nervio espinal, o en el tronco del encéfalo por el nervio trigémino, del mismo lado del cuerpo donde está delimitado el receptor periférico. El cuerpo celular de la neurona de primer orden se encuentra en el ganglio sensitivo de un nervio espinal. En el sistema nervioso central, la neurona de primer orden sigue un

mismo lado, es decir es ipsilateral u homolateral y hace sinapsis con la segunda neurona.

- Neurona de segundo orden: Tiene su cuerpo celular en la médula espinal o en el tronco del encéfalo, dependiendo la localización exacta y de la modalidad correspondiente. Su axón decuso hacia el otro lado del sistema nervioso central y escala hacia el tálamo, donde termina.
- Neurona de tercer orden: Tiene su cuerpo celular en el tálamo y su axón se proyecta hacia la corteza somatosensitiva, la cual, se localiza en el giro post central del lóbulo parietal del hemisferio cerebral. (Crossman, 2015)

1.1.2.5.2 Vías motoras. Según Crossman, 2015 Las neuronas motoras poseen sus cuerpos celulares en la sustancia gris de la médula espinal y el tronco del encéfalo, las cuales se denominan neuronas motoras inferiores. Forman la llamada Vía común final, por la que el sistema nervioso interviene en el movimiento. Las neuronas que intervienen en la actividad de las neuronas motoras inferiores se denominan, en conjunto, neuronas motoras superiores. Constituyen una sucesión de tractos descendentes que corren a través del tronco del encéfalo y la médula espinal (Véase Figura 18).

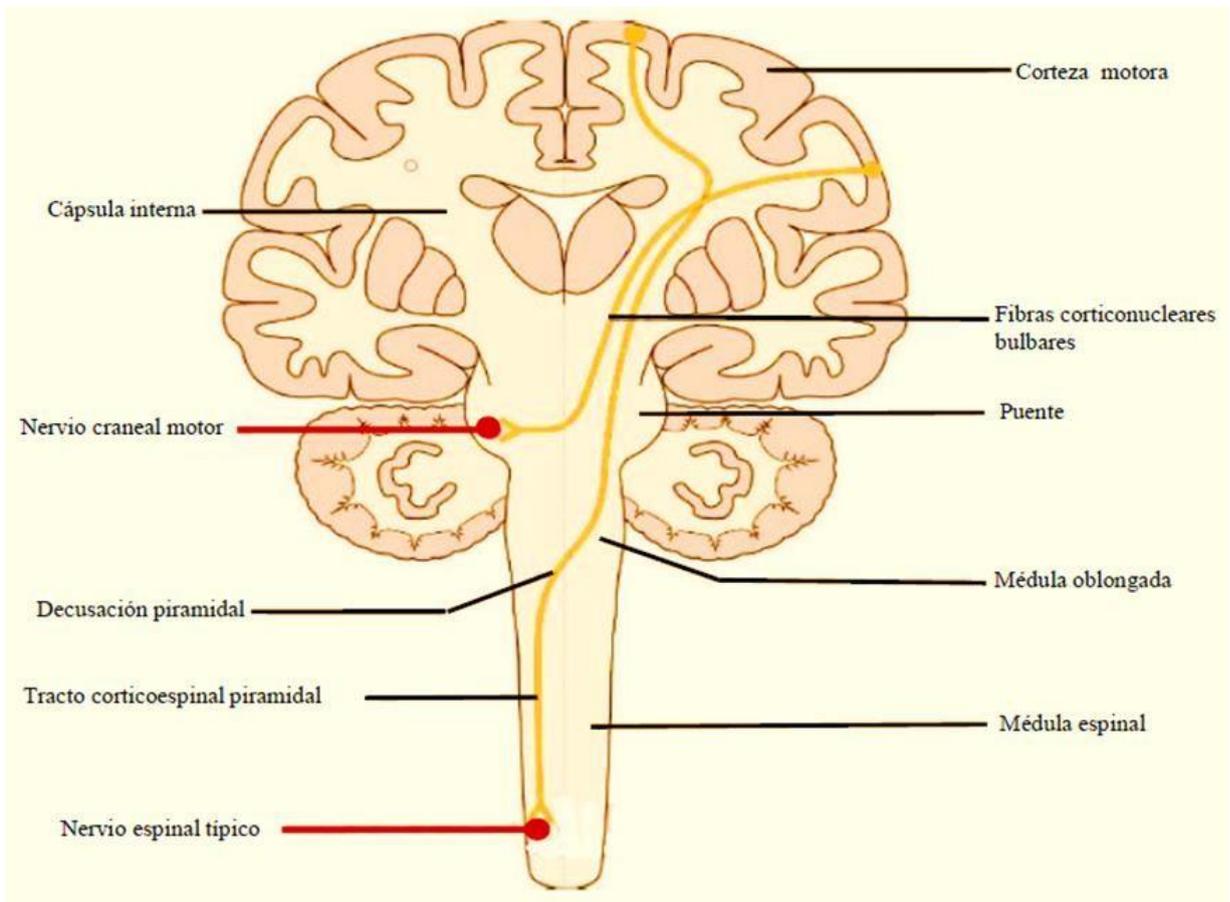


Figura 18. Principales vías motoras.

Fuente: Crossman, 2015

Dentro de esta vía motora podemos encontrar las siguientes neuronas:

- **Motoneurona Superior:** Son las encargadas de enviar impulsos nerviosos, haciendo sinapsis con las neuronas de los circuitos locales y motoneuronas inferiores. Se pueden encontrar en la corteza cerebral, son esenciales para la ejecución de movimientos voluntarios. Otras motoneuronas superiores se originan en centros motores del tronco encefálico como: en el núcleo rojo, el núcleo vestibular, el colículo superior y la formación reticular. Las motoneuronas superiores del tronco encefálico son las responsables de la regulación del tono muscular, controlar la musculatura de la postura, y ayudan a mantener el equilibrio y la disposición de la

cabeza y el cuerpo. Tanto los núcleos basales como el cerebelo ejercen influencia sobre las neuronas motoras superiores. (Tortora, 2006)

- **Motoneurona Inferior:** Poseen sus cuerpos en el tronco encefálico y la médula espinal. Desde el tronco encefálico, sus axones pasan por los nervios craneales para inervar los músculos esqueléticos de la cara y la cabeza. Desde la médula espinal, los axones pasan por los nervios espinales para inervar los músculos esqueléticos de los miembros y el tronco. Estas motoneuronas envían eferencias del SNC a las fibras de músculo esquelético. Por esta razón, también se les llama neuronas de la vía final común. (Tortora, 2006)

1.1.3 Neurofisiología del Aparato motor. Toda información o estímulo sensitivo percibido se integra en los niveles del sistema nervioso, generando una respuesta motora precisa, la cual da inicio en la médula espinal con reflejos motores sencillos, extendiéndose hacia el tronco encefálico, generando respuestas más complejas, terminando el cerebro, lugar en el que son controladas las respuestas musculares con más complejidad y precisión. (Guyton, 2016)

1.1.3.1 Médula Espinal. La médula espinal cumple con una organización especializada para las funciones motoras. En la sustancia gris de la médula espinal es el sitio en el que se integran todos los reflejos medulares (Véase Figura 19). Las señales sensitivas entran por las raíces posteriores de la médula y viajan hacia dos destinos distintos: 1. Hacia la rama del nervio sensitivo y termina en la sustancia gris de la médula, produciendo reflejos medulares segmentarios locales. Y 2. Sus impulsos nerviosos son transmitidos hacia los niveles más altos, es decir a las zonas superiores de la médula como el tronco encefálico y la corteza cerebral. (Guyton, 2016)

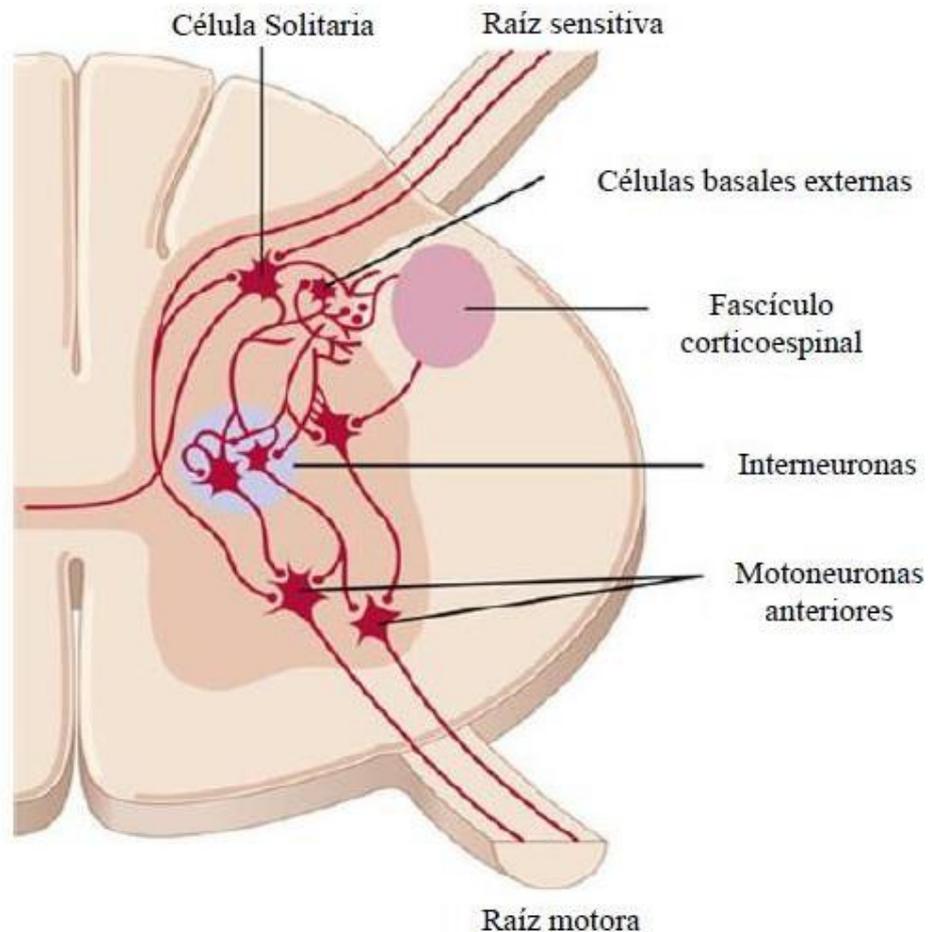


Figura 19. Organización típica en segmento medular.

Fuente: (Guyton, 2016)

Dicho proceso está intervenido por dos tipos de neuronas especializadas, las cuales son (Véase Figura 20):

- **Motoneuronas anteriores:** De estas neuronas surgen las fibras nerviosas que emergen de la médula a través de las raíces anteriores e inervan directamente las fibras de los músculos esqueléticos. Estas neuronas son de dos tipos, motoneuronas α y motoneuronas γ . (Levin, 2016)
- **Motoneuronas α :** Las motoneuronas α dan origen a las grandes fibras nerviosas motoras de tipo $A\alpha$, con un diámetro de $14\ \mu\text{m}$. En su recorrido se ramifican

numerosas veces al entrar en el músculo e inervan las grandes fibras musculares esqueléticas. La estimulación de una fibra nerviosa α , provoca de tres a cientos de fibras musculares, es decir a una unidad motora completa. (Guyton, 2016)

- Motoneuronas γ : Las motoneuronas γ son mucho más pequeñas y se encuentran en las astas anteriores de la médula espinal. Estas células transfieren impulsos nerviosos a través de unas fibras nerviosas motoras de tipo $A\gamma$, presentan un diámetro medio de $5\ \mu\text{m}$. Estas motoneuronas están destinadas hacia las fibras intrafusales del músculo. Estas fibras se encuentran en el centro del huso neuromuscular, el cual sirve para controlar el “tono normal” del músculo. (Guyton, 2016)

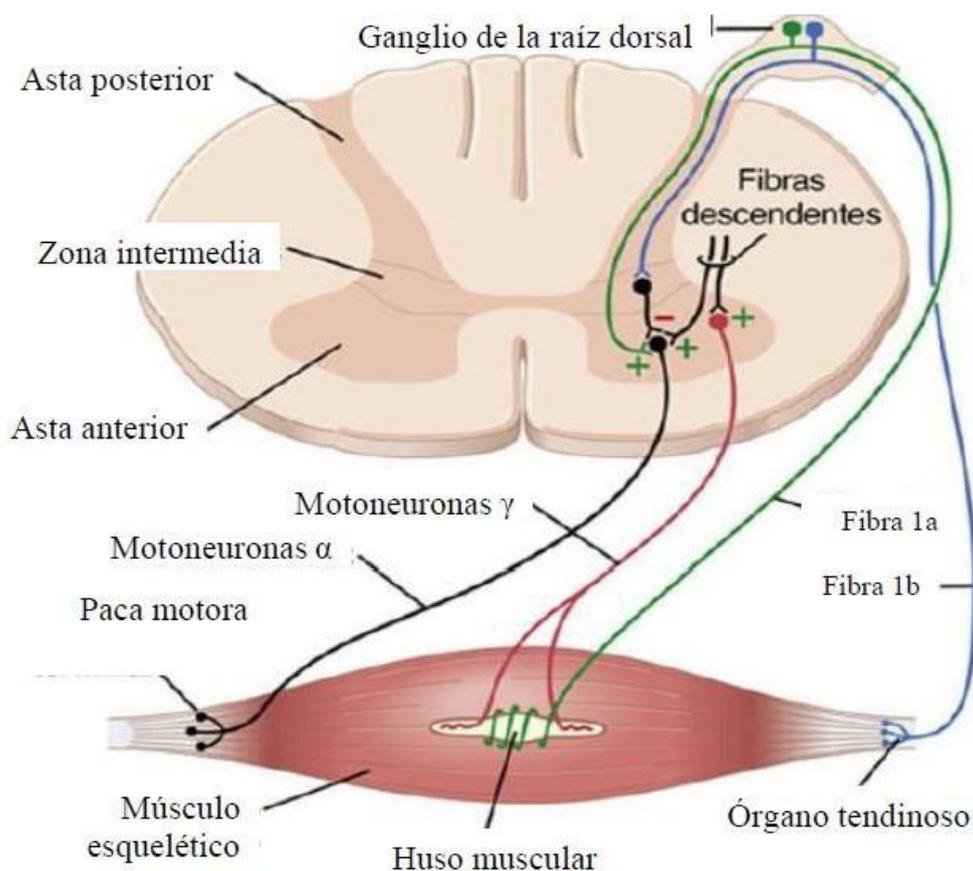


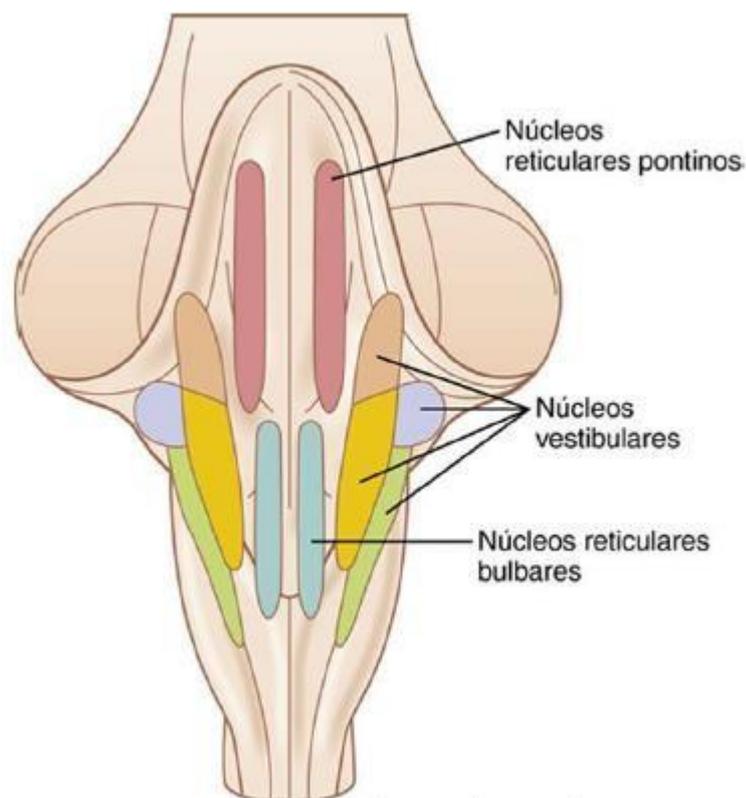
Figura 20. Fibras sensoriales periféricas y motoneuronas anteriores que inervan el músculo esquelético.

Fuente: Guyton, 2016

- **Interneuronas:** Las interneuronas están presentes en todas las regiones de la sustancia gris de la médula espinal. En promedio estas células son unas 30 veces más numerosas que las motoneuronas anteriores. Son de tamaño pequeño y poseen un medio muy excitable, poseen la capacidad de emitir hasta 1.500 disparos por segundo. Entre ellas mantienen múltiples interconexiones y la mayoría de ellas crean sinapsis directas con las motoneuronas anteriores. Las conexiones entre las interneuronas y las motoneuronas anteriores son las responsables de la mayoría de las funciones integradoras que cumple la médula espinal en el movimiento. (Guyton, 2016)

1.1.3.2 Tronco Encefálico. Según Guyton, 2016 el tronco del encéfalo sirve como centro de relevo para las señales de mando originarias de los centros nerviosos superiores. Esta estructura cumple funciones importantes como el control del equilibrio y el movimiento del cuerpo en conjunto. El desempeño de estos objetivos tiene lugar en los núcleos reticulares y los núcleos vestibulares del tronco del encéfalo.

El tronco del encéfalo está compuesto por el bulbo raquídeo, la protuberancia y el mesencéfalo (Véase Figura 21). Lo cual constituye una continuación de la médula espinal que asciende hacia la cavidad del cráneo, ya que contiene núcleos sensitivos y motores capaces de cumplir funciones especializadas en regiones de la cara y la cabeza, así como la médula espinal cumple estas funciones desde el cuello hacia abajo. (Guyton, 2016)



*Figura 21. Localización de los núcleos reticulares y vestibulares en el tronco del encéfalo.
Fuente: Guyton, 2016*

1.1.3.3 Corteza motora: La corteza cerebral constituye a la sustancia gris que forma el borde externo del cerebro. Mide aproximadamente entre de 2 a 4 mm de espesor, posee miles de millones de neuronas dispuestas en capas. La corteza cerebral está dispuesta en unos pliegues se llamados giros o circunvoluciones. Además, pueden observarse unas grietas profundas entre las circunvoluciones llamadas fisuras, las más superficiales se llaman surcos.

Consta de una depresión más profunda y una fisura longitudinal, las cuales, dividen el cerebro en una mitad derecha y una mitad izquierda conocidas como hemisferios cerebrales. Los hemisferios se conectan en el interior mediante el cuerpo calloso, es una extensa banda de sustancia blanca que contiene axones los cuales se extienden de uno a otro hemisferio (Véase Figura 22).

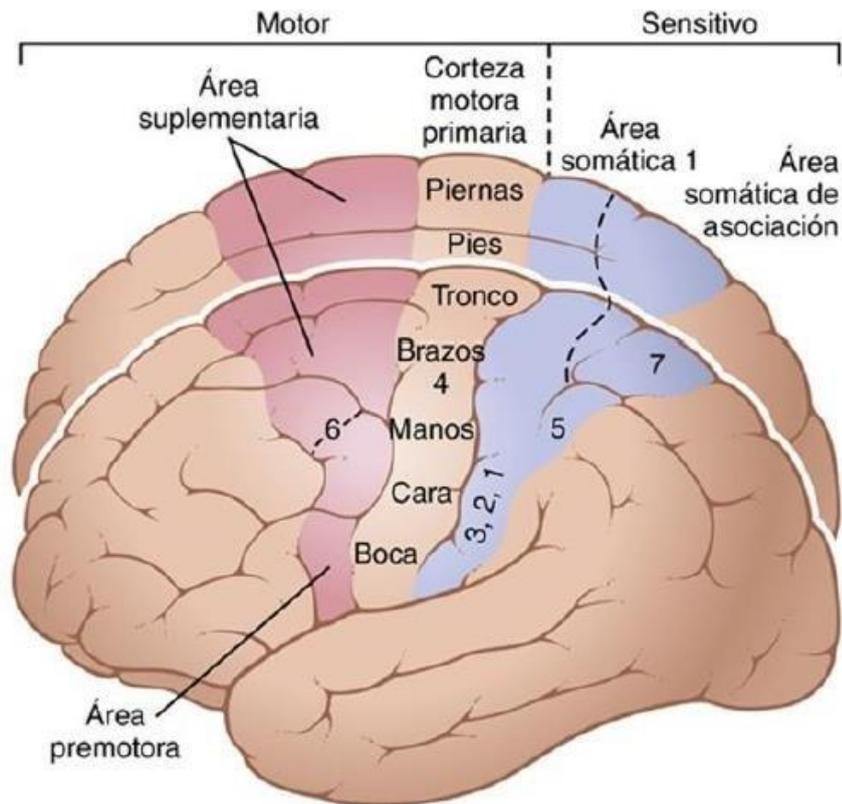


Figura 22. Áreas funcionales motoras y somatosensitivas de la corteza cerebral.

Fuente: Guyton, 2016

La corteza motora se divide en tres áreas, cada una de ellas posee su propia representación topográfica para determinados grupos musculares y sus funciones motoras específicas (Véase Figura 23):

- Corteza motora primaria: La corteza motora primaria, representa la primera circunvolución de los lóbulos frontales por el frente de la cisura de Rolando. Comienza desde su zona más lateral o cisura de Silvio, se extiende hacia arriba hasta la parte más superior del cerebro y desciende por la profundidad de la cisura longitudinal. Esto coincide con el área 4 según la clasificación de Brodmann de las áreas corticales cerebrales. (Guyton, 2016)

- La corteza motora primaria comienza en la región de la cara y la boca cerca del surco lateral, el brazo y la mano por porción intermedia de la corteza motora primaria. El tronco, cerca del vértice del cerebro, y las áreas de las piernas y los pies en la parte de la corteza motora primaria que se introduce en la cisura longitudinal. (Guyton, 2016)
- Área premotora: El área premotora se encuentra ubicada a una distancia de 1 a 3 cm por delante de la corteza motora primaria. Se extiende hacia abajo en trayectoria al surco lateral y hacia arriba en trayectoria a la cisura longitudinal, limitando con el área motora suplementaria. La organización topográfica se organiza en las zonas para la boca y la cara más hacia lateral, en ascenso aparecen las áreas para las manos, los brazos, el tronco y las piernas. (Levin, 2016)

Las señales nerviosas producidas en el área premotora dan lugar a patrones de movimiento mucho más complejos que los patrones puntuales producidos en la corteza motora primaria.

- Área motora suplementaria: El área motora suplementaria presenta una organización topográfica diferente que permite controlar la función motora. Ocupa la cisura longitudinal y se extiende unos pocos centímetros por la corteza frontal superior. Las contracciones producidas al estimular esta zona suelen ser bilaterales en vez de unilaterales.
- Esta área funciona en armonía con el área premotora para generar movimientos posturales del cuerpo, los movimientos de fijación de los diferentes segmentos corporales, los movimientos posturales de la cabeza y de los ojos, además, permite un control motor más fino de los brazos y de

las manos a cargo del área premotora y de la corteza motora primaria.

(Guyton, 2016)

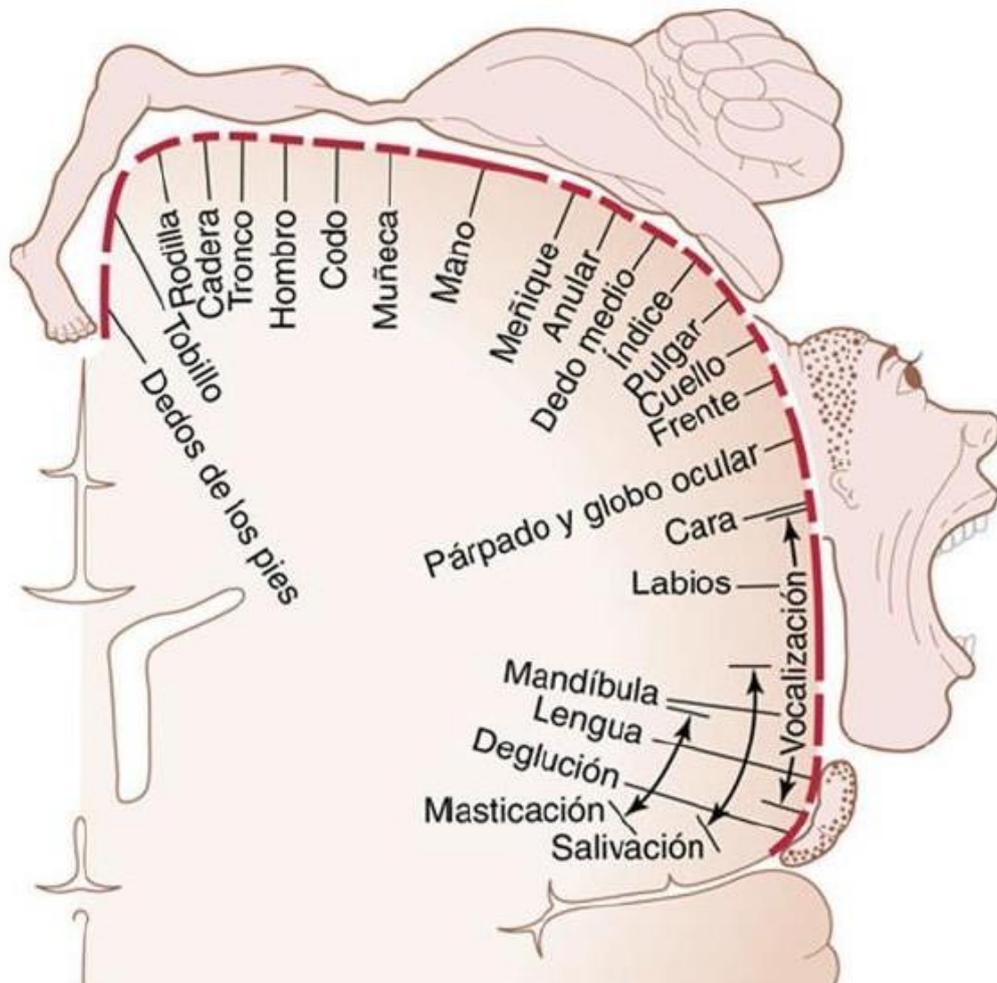


Figura 23. Grado de representación de los diversos músculos del cuerpo en la corteza motora.

Fuente: Guyton, 2016

1.1.3.4 Cerebelo. El cerebelo representa un papel primordial en la coordinación temporal de las actividades motoras y en una secuencia suave y rápida de un movimiento muscular al siguiente. Es el encargado de regular la intensidad de la contracción muscular cuando se modifica la carga a la que se encuentra sometido el músculo, e inspecciona las

interacciones necesarias entre los grupos musculares agonistas y antagonistas (Véase Figura 24). (Berne, 2009)

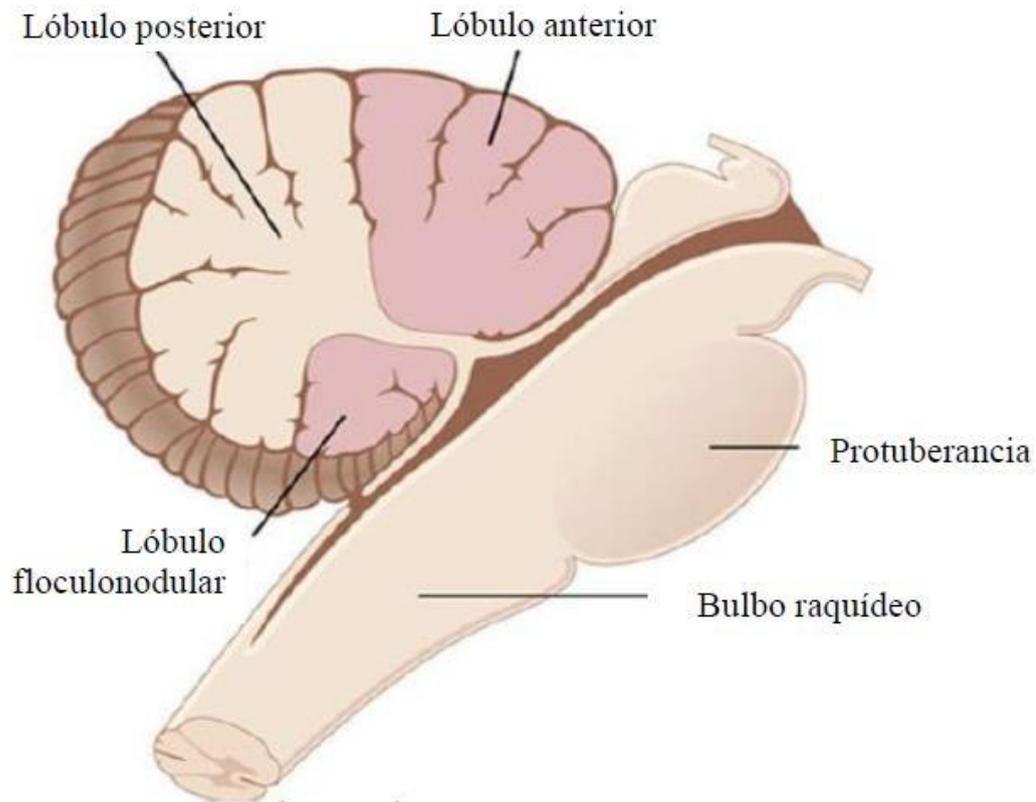


Figura 24. Lóbulos anatómicos del Cerebelo, vista lateral.

Fuente: Guyton, 2016

El cerebelo usualmente recibe información renovada acerca de la secuencia deseada de las contracciones musculares desde las áreas encefálicas de control motor; además recibe continuamente información sensitiva desde las porciones periféricas del organismo, las cuales comunican el estado de cada una de ellas: su posición, la velocidad de movimiento, las fuerzas que actúan sobre ella. (Guyton, 2016)

El cerebelo diferencia los movimientos reales determinados por la información sensitiva periférica y da retroalimentación de los movimientos pretendidos por el sistema motor. Si

la comparación entre ambos no resulta satisfactoria, devuelve unas señales subconscientes instantáneas de corrección hacia el sistema motor para aumentar o disminuir los niveles de activación del músculo involucrado. (Berne, 2009)

El cerebelo ejerce como un reforzador del movimiento, (Véase Figura 25), favoreciendo las señales motoras generadas en los centros motores corticales y tronco encefálico, lo que ayuda a mantener el adecuado tono muscular de extensores y flexores durante los cambios de posición de las articulaciones. (Tirapu, 2011)

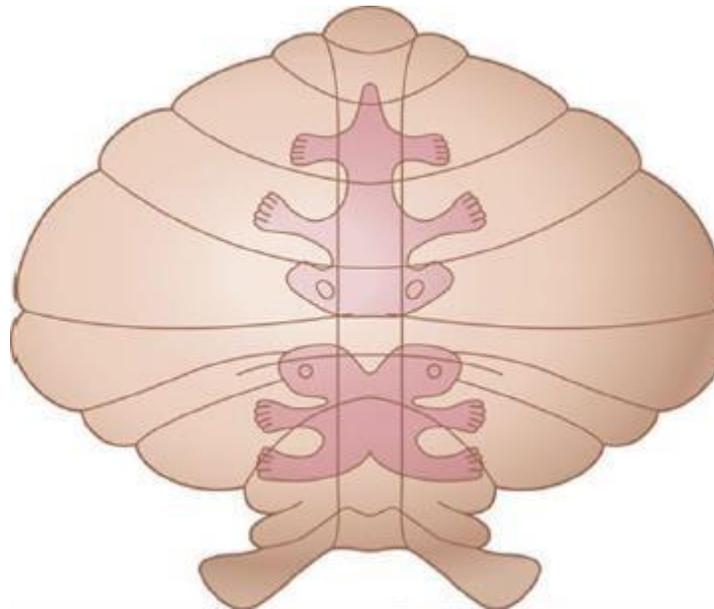


Figura 25. Áreas de proyección somatosensitivas en la corteza cerebelosa.

Fuente: Guyton, 2016

El cerebelo también interviene con la corteza cerebral en la planificación anticipada de la secuencia de movimientos con una previa fracción de segundo, mientras se está ejecutando aún el movimiento, hace que se pase con suavidad al siguiente movimiento. Igualmente, genera retroalimentación de los movimientos erróneos, es decir, si un

movimiento no se realiza como se esperaba, el circuito cerebeloso genera otro movimiento más fuerte o más débil al próximo intento. (Guyton, 2016)

Para realizar estos arreglos se producen permutas en la excitabilidad de las neuronas cerebelosas, para que las próximas contracciones musculares tengan una mejor ejecución y los movimientos deseados sean exactos. (Guyton, 2016)

1.1.3.5 Ganglios Basales: Los ganglios basales son un conjunto de estructuras nucleares profundas. Se encuentran ubicados dentro del telencéfalo, diencéfalo y mesencéfalo. Las estructuras que conforman a los ganglios basales son: El Neoestriado (caudado y putamen), globo pálido, sustancia negra y núcleo subtalámico (Véase Figura 26). (Ospina, 2017)

En cada lado del encéfalo, pueden encontrarse estructuras nucleares de los ganglios basales como, el núcleo caudado, el putamen, el globo pálido, la sustancia negra y el núcleo subtalámico. Se encuentran situados en la posición lateral y alrededor del tálamo, ocupando gran parte de las regiones internas de ambos hemisferios cerebrales. (Guyton, 2016)

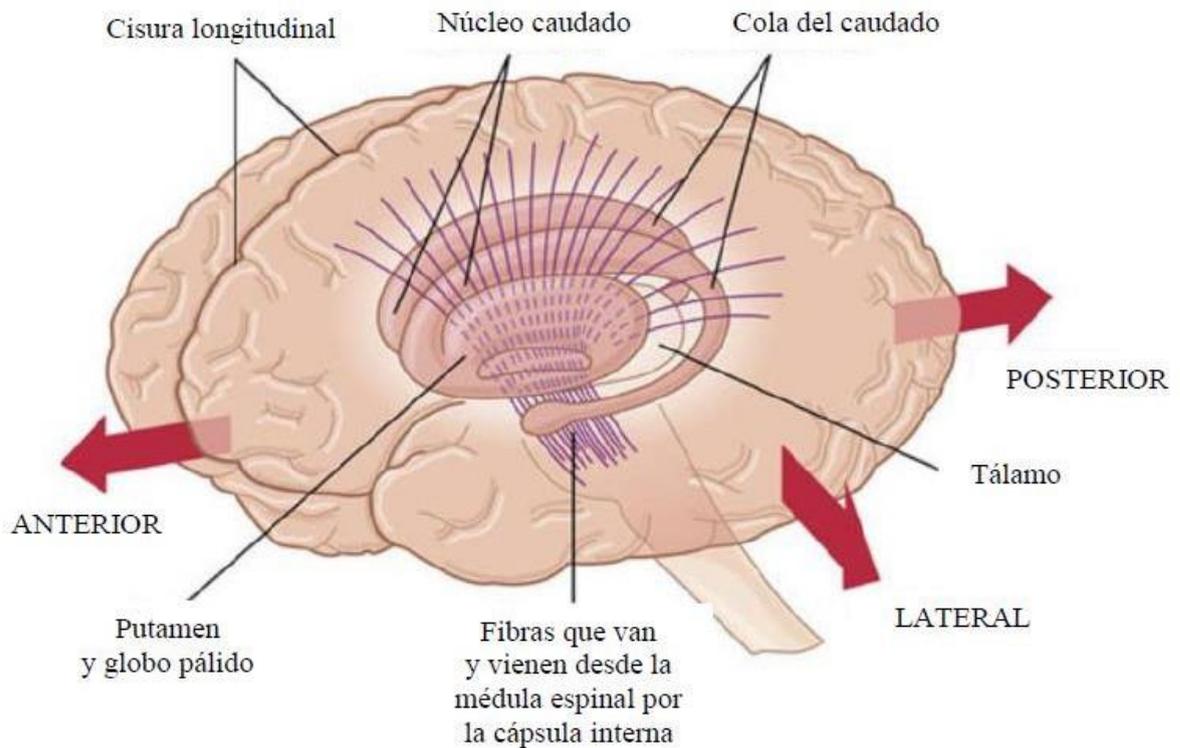


Figura 26. Relaciones anatómicas de los ganglios basales con la corteza cerebral y el tálamo, representadas en una imagen tridimensional.

Fuente: Guyton, 2016

Los ganglios basales cumplen la función de planificar y controlar los esquemas complejos del movimiento. Sistematizan las intensidades referentes de cada movimiento, dirección y la ordenación de los movimientos paralelos y sucesivos, destinados a alcanzar un objetivo motor específico complejo. Los ganglios basales establecen un sistema motor auxiliar que funciona íntimamente vinculado con la corteza cerebral y el sistema de control motor corticoespinal. (Berne, 2009)

1.1.4 Movimiento en el cuerpo humano La física descrita por Newton, indica que un cuerpo está en movimiento, cuando este cambia de posición. Sin embargo, esta definición de la mecánica clásica es ambigua, ya que excluye muchos de los factores involucrados cuando se lleva a cabo un movimiento, como lo es el viento, el movimiento de la tierra, entre otros. (Grigioni, Palmegiani y Schafir, 2017)

Para definir entonces mejor el movimiento se puede indicar que; un cuerpo está en movimiento, cuando este cambia de posición, a medida que pasa el tiempo, tomando como referencia también, a otro cuerpo. (Grigioni y Otros, 2017)

Las referencias son importantes, ya que no podemos hablar de reposo o de movimiento si no hablamos simultáneamente del sistema de referencia, en donde se toma en cuenta un cuerpo en reposo como alusión para observar el movimiento de otro cuerpo. (Grigioni y Otros, 2017)

En el cuerpo humano, el aparato locomotor, es una pieza importante para llevar a cabo los diferentes movimientos. Gracias a este aparato, el organismo puede desplazarse de un lugar a otro, manteniendo así la homeostasis. Esto realizando acciones como: la búsqueda de alimentos o realizar movimientos como medida de protección. (Guyton, 2016)

El análisis mecánico [y por ende el movimiento] de los sistemas biológicos y fisiológicos lo lleva a cabo la biomecánica. Esta utiliza principios como la estática, dinámica, la mecánica de los sólidos, la mecánica de los fluidos, entre otros, para realizar dicho análisis.

Uno de los objetivos de la biomecánica es mejorar el conocimiento de la mecánica del cuerpo humano. (Nordin, 2004). “La biomecánica es una disciplina que se nutre de los

principios de la física para estudiar cuantitativamente la interacción de las fuerzas en un cuerpo vivo”. (Neumann, 2007, p. 3)

1.1.4.1 Cinemática. Deriva de la mecánica y se encarga de describir el movimiento de un cuerpo, sin incluir a las fuerzas o momentos que provocan el movimiento. Es importante señalar que, en biomecánica, el concepto de cuerpo se emplea para señalar todo el cuerpo, o cualquiera de las partes que lo conforman. (Neumann, 2007)

1.1.4.1.1 Tipos de movimiento. Estos se dividen en dos grandes grupos; la traslación y la rotación:

- Traslación: “Describe un movimiento lineal en el que todas las partes de un cuerpo rígido se mueven en paralelo y en la misma dirección que cualquier otra parte del cuerpo” (Neumann, 2007, p 4).

Esta ocurre en línea recta [también denominada rectilínea], o en línea curva [denominada también curvilínea]. (Neumann, 2007)

- Rotación: “Describe el movimiento en que un cuerpo rígido se mueve en una trayectoria circular sobre un eje. Como resultado, todos los puntos del cuerpo giran simultáneamente en la misma dirección” (Neumann, 2007, p. 5).

Todo el movimiento conjunto, que realiza el cuerpo humano, se describe como una traslación del centro de masa del cuerpo. Este centro de masa se ubica comúnmente anterior al sacro. Los movimientos rotatorios del cuerpo humano se observan en los músculos, ya que estos hacen rotar las extremidades, en los diferentes movimientos que poseen las articulaciones. (Neumann, 2007)

El eje de rotación es el punto pivote donde existe un movimiento angular. Dicho eje se encuentra donde el movimiento del cuerpo que rota es cero. En el cuerpo humano, el eje de rotación del cuerpo humano se ubica cercano a la estructura de la articulación. Un ejemplo de ello es el fémur, ya que su eje de rotación se encuentra en la cabeza. (Neumann, 2007)

Si el movimiento del cuerpo se analiza dejando fuera los movimientos de traslación o rotación, se puede dividir en activo y pasivo. Los movimientos activos son realizados por los músculos estimulados por el sistema nervioso, y los movimientos pasivos se generan por fuerzas distintas a los músculos, como lo es la gravedad. (Neumann, 2007)

1.1.4.2 Osteocinématica. Es una de las ramas de la biomecánica, se encarga del estudio del desplazamiento en los huesos, excluyendo a los músculos y la influencia que estos tienen sobre el tejido óseo. (Lallee,2003)

La osteocinématica analiza el movimiento de los huesos, tomando en cuenta los tres planos de movimiento, los cuales son (Véase Tabla 3):

- Plano Sagital: Este pasa paralelo a la sutura sagital del cráneo, dividiendo al cuerpo en dos mitades; derecha e izquierda
- El plano frontal: Discurre paralelo a la sutura coronal del cráneo, dividiendo al cuerpo en dos mitades; anterior y posterior
- El plano horizontal: Este también es denominado transverso, pasa paralelo al horizonte [justo por el ombligo] y divide el cuerpo en dos mitades: superior e inferior (Véase Figura 27). (Neumann, 2007)

Es importante mencionar que la descripción de los planos se realiza con una persona en bipedestación en posición anatómica.

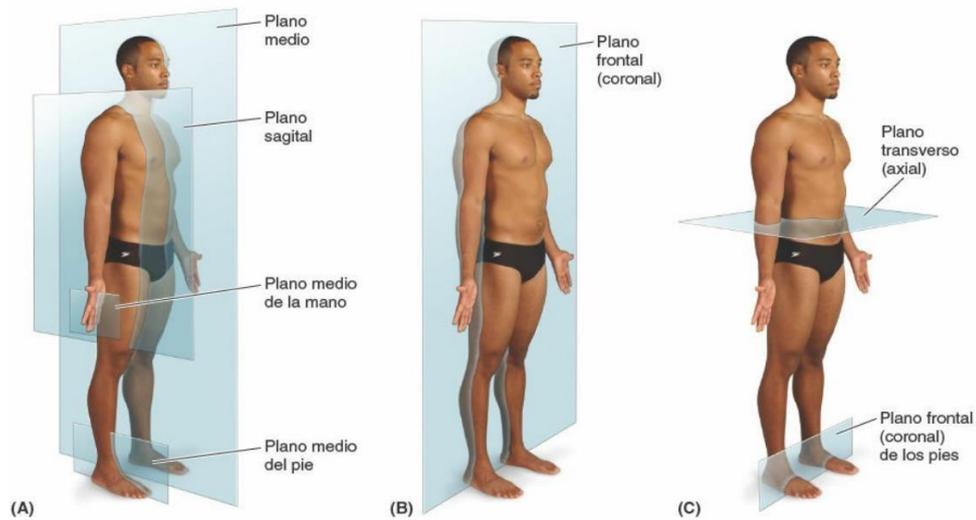


Figura 27. Planos y Ejes

Fuente: Moore, 2017

Tabla 3. Movimientos Osteocinemáticos en diferentes planos.

Plano Sagital	Plano Frontal	Plano Horizontal
Flexión y extensión	Abducción y aducción	Rotación interna (medial) y externa (lateral)
Flexión dorsal y flexión plantar	Inclinación lateral	Rotación axial
Anteversión y retroversión	Desviación radial y cubital	
	Eversión e inversión	

Fuente: Neumann, 2004

“Los huesos rotan alrededor de una articulación en un plano perpendicular a un eje de rotación. El eje suele localizarse en el segmento convexo de la articulación” (Neumann, 2007, p. 6).

El número de movimientos independientes que permite una articulación se denomina grados de libertad, una articulación puede tener hasta tres grados de libertad, que

equivaldría al número de planos de movimiento que permite dicha estructura. (Neumann, 2007)

1.1.4.3 Artrocinemática. Es una rama de la cinemática, que se encarga de describir el movimiento entre las articulaciones. Es importante mencionar, que la forma de las superficies articulares puede ser plana o curva. Sin embargo, una gran cantidad de articulaciones presentan superficies curvas, por lo que se puede señalar que una de las superficies articulares es convexa y la otra cóncava. Esta relación convexo - cóncava de las superficies articulares, mejora su coherencia, aumenta el área de superficie, para eliminar las fuerzas de contacto, y ayuda a conducir el movimiento entre los huesos, (Véase Figura 28 y 29). (Neumann, 2007)

Existen tres movimientos imprescindibles en las superficies articulares: rodamiento, deslizamiento y rotación. Estos movimientos se realizan cuando una superficie convexa se desplaza sobre otra cóncava, y viceversa. (Véase Tabla 4)



*Figura 28. Movimiento artrocinemático de una superficie convexa sobre otra cóncava
Fuente: Neumann, 2007*

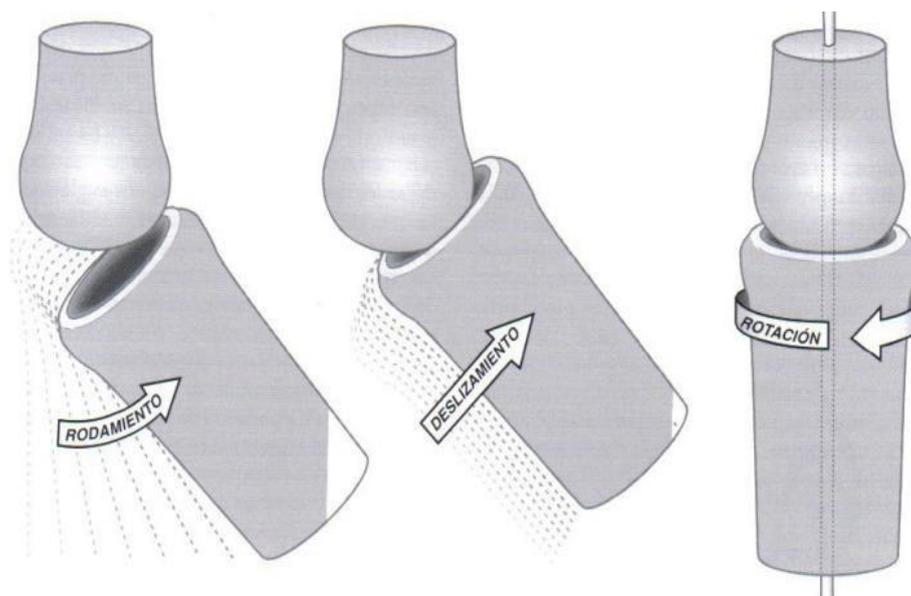


Figura 29. Movimiento artrocinemático de una superficie cóncava sobre otra convexa.

Fuente: Neumann, 2007

Tabla 4. Movimientos artrocinemáticos

Movimiento	Definición	Analogía
Rodamiento	Múltiples puntos de una superficie articular entran en contacto con múltiples puntos de otra superficie articular	Un neumático que rueda por la calle
Deslizamiento	Un solo punto de una superficie articular entra en contacto con múltiples puntos de otra superficie articular	Un neumático estático que se desliza por un tramo de calle helado
Rotación	Un solo punto de una superficie articular gira sobre un solo punto de otra superficie articular	Un juguete que da vueltas sobre un punto del suelo

Fuente: Neumann, 2007

1.1.5 Dinámica en el sistema musculoesquelético. Es una ciencia que proviene de la mecánica, esta se encarga de describir el efecto que tienen las fuerzas sobre un cuerpo. Desde una perspectiva biológica, o sea desde la cinesiología, una fuerza puede ser un empuje o tracción, que provoca o detiene el movimiento. Es así, que las fuerzas aportan el impulso para crear el movimiento. En la segunda ley de Newton se describe, que la cantidad de una fuerza se calcula como el producto de la masa que recibe un impulso, multiplicado por la aceleración. (Neumann, 2007)

1.1.5.1 Fuerzas que actúan en el sistema musculoesquelético. Se pueden clasificar las fuerzas que actúan en el sistema musculoesquelético, en dos grandes grupos: interna y externa.

1.1.5.1.2 Fuerzas Internas. Estas fuerzas las generan los diferentes componentes ubicados dentro del cuerpo. Las fuerzas internas, a su vez se subdividen en:

- Fuerzas internas activas: Estas son generadas por la acción de los músculos estimulados y por lo general es una acción voluntaria. Además, estas fuerzas suelen ser las mayores de todo el cuerpo.
- Fuerzas internas pasivas: Son provocadas por la tensión de tejidos conjuntivos periarticulares, tejidos conjuntivos intramusculares, ligamentos y cápsula articular.

(Neumann, 2007)

1.1.5.1.3 Fuerzas Externas. Estas provocadas por fuerzas que actúan fuera del cuerpo humano. Las fuerzas externas suelen nacer de la fuerza gravitatoria, ya que esta influye sobre la masa de un cuerpo, de un segmento corporal o de una carga externa, como los objetos que rodean a un individuo. (Neumann, 2007)

Las fuerzas que movilizan y estabilizan al cuerpo humano, poseen diversas capacidades de deformidad. Estas fuerzas se aplican principalmente al sistema musculoesquelético. Las fuerzas que se aplican son: tensión, compresión, flexión, cizallamiento, torsión, carga combinada (Véase Figura 30). (Neumann, 2007)

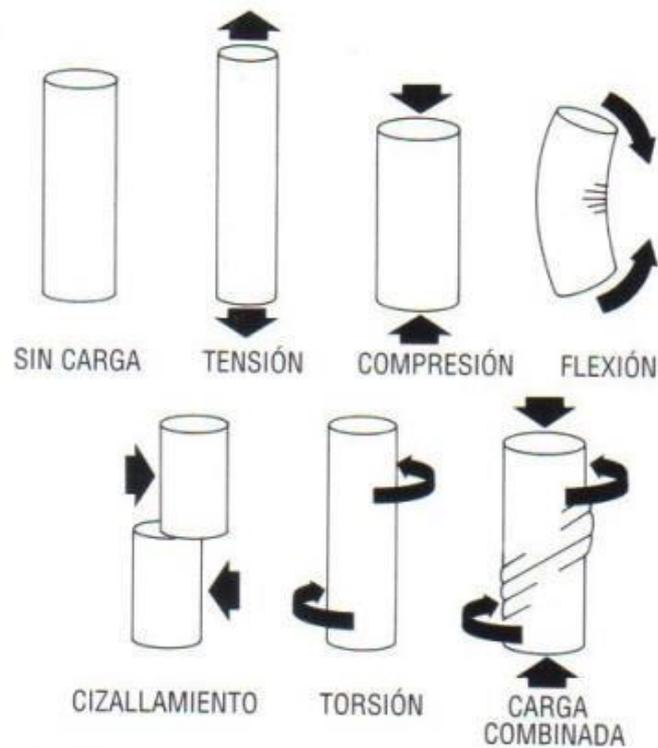


Figura 30. Fuerzas que se aplican en el sistema musculoesquelético

Fuente: Neumann. 2007

1.1.5.2 Tipos de activación muscular. Los músculos producen fuerza por medio de tres tipos de activación: isométrica, concéntrica y excéntrica:

- *Activación isométrica.* Ocurre cuando el músculo se contrae [produce fuerza], sin alterar la longitud de sus fibras.

- *Activación concéntrica.* Ocurre cuando el músculo se contrae [produce fuerza], provocando que las fibras se acerquen entre sí.
- *Activación excéntrica.* Ocurre cuando el músculo se contrae [produce fuerza] provocando que sus fibras se elonguen. (Neumann, 2007)

1.1.5.3 Efecto Treppe. es un fenómeno denominado también efecto de escalera.

Comienza con una contracción muscular después de un periodo largo de reposo. Al inicio de la contracción esta suele ser pequeña, pero a medida que pasa el tiempo aumenta hasta llegar a una meseta, es por ello que se le conoce como efecto en escalera. No se conocen todas las causas por las cuales se produce el efecto de Treppe. Sin embargo, se cree que se debe al aumento de los iones calcio en el citosol. (Guyton, 2017)

1.1.5.4 Tono muscular. Cuando los músculos están en reposo, existe una cierta cantidad de tensión, la cual se conoce como tono muscular. Las fibras musculares no se contraen sin que ningún potencial de acción llegue a la fibra, el tono muscular, se mantiene gracias a impulsos nerviosos de baja frecuencia que vienen de la médula espinal. Dichos impulsos están controlados por las señales que envía el encéfalo a las motoneuronas. (Guyton, 2017)

1.1.5.4.1 Alteraciones del tono muscular. Entre las diferentes alteraciones que posee el tono muscular, podemos mencionar:

- Hipotonía: Es la disminución del tono muscular
- Atonía: Es la ausencia del tono muscular, se puede señalar como la máxima expresión de la hipotonía
- Hipertonía: Es el aumento del tono muscular

- Distonía: Cambio accesimal del tono muscular, con control de la hipertonía o hipotonía (Suros, 2001)

1.1.6 Postura. La postura se define como la posición relativa que adecua el cuerpo humano. Una postura correcta, es la que permite poseer un estado de equilibrio entre los músculos y los huesos, de tal manera, que protejan al conjunto corporal de lesiones o de deformaciones progresivas independientemente de la posición de este. (Kendall, 2007)

1.1.6.1 Control postural. La coordinación en el control postural permite una adecuada orientación de los segmentos corporales. Esto permite llevar adecuadamente la fuerza de gravedad, minimizando así las oscilaciones corporales. (Viseux, 2020)

La regulación de la postura en relación con la gravedad es característico para mantener el equilibrio postural, que se define como aquel estado en el que todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo están equilibradas de tal forma que el cuerpo mantiene una posición, conocida como equilibrio estático y es capaz de avanzar según un movimiento planificado sin perder el equilibrio, conocido como equilibrio dinámico, es decir, la suma de las fuerzas ejercidas y de sus momentos equivale a cero. (Martín, 2004)

El control postural está mediado por diferentes estructuras del SNC:

Centros: Los centros principales son el tronco cerebral, el cerebelo, los ganglios de la base y los hemisferios cerebrales a nivel del área motora suplementaria y del lóbulo parietal derecho.

- Los ganglios de la base y el tronco cerebral son los centros reguladores de los ajustes posturales.

- Las estructuras hemisféricas desempeñan un papel especial en la representación corporal, y en la elaboración de la respuesta motora.
- El cerebelo desempeña un papel importante en la regulación del movimiento a nivel de las sinergias musculares. Participa en la adquisición y aprendizaje de los movimientos. (Martín, 2004)

Aferencias periféricas: El control postural exige un conjunto de entradas o aferencias que incluyen toda aquella información, procedente tanto del exterior como el interior, necesario para la regulación de la postura: aferencias propioceptivas, cutáneas, vestibulares y visuales.

Efectores musculares: Las aferencias musculares están controladas por los husos neuromusculares, conectados a las fibras de tipo Ia, las cuales poseen una mayor sensibilidad al estiramiento pasivo del músculo, sobre todo ante estiramientos rápidos de baja amplitud, y sus terminaciones secundarias que se encuentran conectadas a las fibras tipo II, tienen un umbral más elevado y una mayor sensibilidad a la posición. (Martín, 2004)

1.1.6.2 Control y regulación de la postura. Esto se realiza por medio de las vías aferentes del sistema nervioso central, ya que este envía las señales nerviosas. Estas señales envían órdenes para elaborar los diferentes movimientos, así mismo regular las oscilaciones posturales.

La unión de las vías aferentes y eferentes forma el sistema postural fino. Este sistema está formado por cinco entradas distintas, tres informan del medio externo y son denominadas exoentradas y dos informan sobre el individuo mismo, y son denominadas endoentradas. (Viseux, 2020)

1.1.6.2.1 Exoentradas. Se dividen en tres grandes grupos, los cuales son: el sistema visual, el sistema vestibular, y superficie plantar cutánea. (Viseux, 2020)

El sistema visual: Aporta al sistema nervioso central, información del cuerpo en cuanto a su posición y movimiento de este. Dichas acciones las realiza por medio de la retina y los músculos oculomotores. En un estado estático el sistema visual envía información que evita que existan oscilaciones. Se puede mencionar, que este sistema presenta dos funciones fundamentales con respecto a la postura, estas son:

- La visión cognitiva, brinda información exacta sobre el medio externo. Por medio de la dirección de la mirada se da información de la posición cabeza y del cuerpo.
- La visión periférica, proporciona una función propioceptiva, brindando al sistema nervioso, información sobre el desplazamiento del cuerpo y sobre el desplazamiento del entorno. (Viseux, 2020)

Por otra parte, el sistema vestibular, el cual está ubicado dentro del oído, está formado por el utrículo, sáculo y por los canales semicirculares. Este sistema participa en gran medida, en la permanencia del equilibrio tanto estático como dinámico. Está especializado en detectar aceleraciones lineales y angulares de la cabeza en los tres planos del espacio (Viseux, 2020)

La función del utrículo y el sáculo es identificar las aceleraciones de la gravedad y aceleraciones lineales que sufre el individuo. Por otra parte, los canales semicirculares se encargan de percibir las aceleraciones angulares, aunque estos no pueden proporcionar información en los movimientos de rotación constante. (Viseux, 2020)

El último de los elementos es la superficie cutánea plantar. Es la puerta de entrada, esta proporciona información sobre la gravedad, sensaciones de equilibrio y presión, que provienen de la planta de los pies.

La sensibilidad que posee la superficie cutánea es gracias al gran número de células de Paccini y de Golgi, ubicadas en la hipodermis. La planta del pie ayuda a establecer la alineación corporal correcta. (Ramos, 2010)

1.1.6.1.2 Endoentradas. Informan al sistema nervioso todo lo que ocurre dentro del individuo, por medio de receptores. Brindan información de los receptores externos del sistema visual, vestibular y podal. (Ramos, 2010)

1.1.6.2 Evaluación de la postura en el ser humano. Daza (2007) refiere que se toman en cuenta 5 ítems para realizar una correcta evaluación: historial, condicionales por contexto, constitucionales, estáticos y dinámicos.

- a. **Historia:** Es la revisión de la información obtenida en el interrogatorio al paciente. En este punto se conocen datos relevantes como: antecedentes traumáticos, actividades de la vida diaria, profesión, programa terapéutico previo, entre otros.
- b. **Condicionales por contexto:** Son de los más influyentes en el paciente, ya que forman parte de las adaptaciones derivadas de su experiencia. En esta se incluyen los aspectos psicológicos [desde cómo estos afectan a la postura], condiciones sociales, cognitivas y físicas.

- c. Constitucionales: Relación entre variables antropométricas que influyen en la posición del paciente. Sirven para establecer relaciones de proporcionalidad entre las cadenas.
- d. Estático: Se evalúa desde los tres planos de movimiento. Se observa la alineación corporal y la capacidad para mantener una misma postura. Además, se realizan comparaciones entre ambos hemisferios.
- e. Dinámico: Hacen referencia a la exploración de la amplitud de movimiento activo y pasivo de todos los segmentos corporales (Daza, 2007)

1.1.6.3 Alteraciones de la postura. Se dividen en los siguientes ítems:

1.1.6.3.1 Factores que alteran la postura. Según Ramos 2010, indica que las alteraciones posturales pueden ser causa de diversos factores, como lo son:

- Enfermedades osteomusculares
- Malos hábitos posturales
- Genética
- Traumatismos
- Problemas psicológicos
- Debilidad muscular
- Alteraciones en los órganos de los sentidos

1.1.6.3.2 Clases de alteraciones posturales. Según Kendall's 2007, las posturas incorrectas representan un mal hábito, estas se originan de una mala ejecución de las capacidades del cuerpo. Se pueden dividir en dos grupos:

- **Alteraciones Funcionales:** Son deformidades que no afectan al sistema osteomuscular, estas desaparecen en posiciones decúbito y al realizar estiramientos. La principal causa de estos, son los malos hábitos posturales, de no corregirse estos hábitos la alteración puede convertirse en daño estructural.
- **Alteraciones Estructurales:** Son aquellas alteraciones en las que se engloban daños a músculos, huesos y articulaciones, la característica principal de estas alteraciones es que son irreversibles.

1.1.7. Equilibrio. Se define como la capacidad de mantener el centro de gravedad dentro de la base de sustentación, con el menor cambio por perturbaciones. Se divide en dos: equilibrio estático y equilibrio dinámico.

El equilibrio estático es la capacidad de un individuo para mantener el centro de gravedad dentro de la base de sustentación sin ejercer algún movimiento o el mínimo movimiento. Por otra parte, el equilibrio dinámico se define como el mantenimiento estable de la base de sustentación en movimiento. (León, 2020)

1.1.8 Descripción de la Marcha. La marcha es la actividad básica de locomoción bípeda, desarrollada por los humanos a lo largo de su vida, interactuando con una actividad alternada de los miembros inferiores y superiores, que se caracteriza por un ciclo bipodal y un ciclo unipodal. (Sanz, 2006)

1.1.8.1 Biomecánica de la marcha.

1.1.8.1.1 Consideraciones anatómicas. Son las siguientes:

- **Cadera:** Al realizar la marcha el movimiento generado en la articulación coxofemoral es triaxial, es decir, se realiza una flexión - extensión respecto a un eje

mediolateral. Se realiza una abducción - aducción respecto a un eje anteroposterior y una rotación interna - externa respecto a un eje longitudinal. (Nordin, 2013)

Para los movimientos que realiza la cadera durante la marcha está mediada por tres grupos musculares:

- Extensores de cadera (Glúteo mayor e isquiosurales): El glúteo mayor se activa de forma excéntrica durante la oscilación final, generando una desaceleración la flexión de la cadera preparando a la musculatura para el paso al inicio de la fase de apoyo. El glúteo mayor se activa con fuerza durante el contacto del talón con el suelo, esto para extender la cadera y prevenir la flexión incontrolada del tronco sobre el fémur. Esta activación poderosa del glúteo mayor indirectamente genera la extensión de la rodilla, en el ciclo de la marcha esta acción representa al primer 30%. Los isquiosurales realizan una extensión coxofemoral y soporta el peso del cuerpo, previniendo el colapso de la extremidad inferior durante el comienzo de la fase de apoyo, esto representa el 10% en el ciclo de la marcha. (Neumann, 2007)
- Flexores de cadera (Ilíaco y Psoas): El músculo ilíaco es el que se activa previo al despegue de los dedos del pie para desacelerar la extensión de cadera. Estos músculos realizan una activación excéntrica y concéntrica para que la cadera realice una flexión previo despegue de los dedos del pie y en la oscilación inicial. Esta musculatura se activa durante el 50% del ciclo de marcha. La activación de esta musculatura genera avanzar con la pierna hacia adelante durante la fase de oscilación como preparación para dar el siguiente paso de igual forma elevar la pierna y permitir la separación de los dedos del suelo durante la oscilación. (Neumann, 2007)
- Abductores de cadera (Glúteo medio y glúteo menor): Esta musculatura estabiliza la pelvis en un plano frontal, controlando el leve descenso de la pelvis hacia el lado

de la pierna en la oscilación. Además, controlan la correcta alineación del fémur en un plano frontal. El glúteo medio se activa al finalizar la fase de oscilación preparándose para el contacto del talón. El glúteo mayor y medio son los que más se activan durante el 40% del ciclo de la marcha, presentan más activación en el apoyo unipodal. (Neumann, 2007)

- Rodilla: La articulación de la rodilla presenta tres grados de libertad de rotación angular durante la marcha. Su principal movimiento es la flexión y extensión con respecto al eje mediolateral. Además, puede presentar una rotación interna y externa con respecto a un eje longitudinal y la aducción y abducción (valgo / varo) respecto a un eje anteroposterior, en menos consistencia y amplitud en personas saludables. (Nordin, 2013)

Para los movimientos que realiza la rodilla durante la marcha está mediada por dos grupos musculares:

- Extensores de la rodilla: El músculo principal activado es el cuádriceps, en la fase de oscilación para el contacto del talón con el suelo. Genera una activación excéntrica en la cual se amortigua la velocidad de la aceptación del peso corporal en las extremidades inferiores, además de prevenir una flexión excesiva de la rodilla. Genera una activación concéntrica para realizar la extensión de la rodilla y sostener el peso corporal durante la fase de apoyo. En el ciclo de la marcha el cuádriceps controla la flexión de la rodilla durante el primer 10% del ciclo. (Neumann, 2007)
- Flexores de rodilla: Los músculos implicados en este movimiento son los isquiosurales, mostrando una mayor activación durante el contacto del talón con el suelo. Antes de este movimiento los isquiosurales detienen la extensión de la rodilla, representando el 10% inicial de la fase de apoyo.

Los isquiosurales se mantienen activos para ayudar a la extensión de la cadera y aportar estabilidad de la rodilla. (Neumann, 2007)

- Tobillo y pie: El movimiento del tobillo durante la marcha es permitido por la articulación suprastragalina, la cual permite plantiflexión y dorsiflexión. Para llevar a cabo dichos movimientos requiere de la completa ayuda del pie, teniendo un soporte durante la transferencia de peso formando un brazo de palanca durante el impulso para iniciar a caminar. Los movimientos de tobillo y pie durante la marcha están mediados por la articulación subastragalina, metatarsiana y falángica, favoreciendo a la progresión uniforme del centro de masa del cuerpo en el espacio. (Nordin, 2013)

Los movimientos que realiza el tobillo y pie durante la marcha están mediados por siete músculos:

- Tibial Anterior: El tibial anterior presenta dos periodos de actividad durante el contacto del talón. Presenta una activación excéntrica para desacelerar la flexión plantar pasiva del tobillo causada por el peso del cuerpo sobre la sección posterior del calcáneo. Desde la fase de contacto del talón hasta la fase de pie plano, el tibial anterior puede ayudar a la desaceleración de la pronación del pie, y también mediante su activación excéntrica.
- El tibial anterior también genera la flexión dorsal del tobillo durante la fase de oscilación, elevando los dedos del pie del suelo.
- Tibial posterior: Este es considerado un potente supinador del pie durante la marcha, activándose de un 5% a 55% en el ciclo de la marcha.
- Extensores de los dedos y extensor largo del dedo gordo: Estos músculos cumplen con la función de desacelerar la plantiflexión durante la fase de contacto del talón.

Durante la fase de oscilación, los extensores de los dedos ayudan a la dorsiflexión y extiende los dedos al levantar el pie del suelo. Los músculos que aportan estabilidad al tobillo durante la fase de despegue son los flexores plantares y el extensor largo de los dedos y del dedo gordo.

- Flexores plantares del tobillo: Los músculos principales son los gastrocnemios y el sóleo, mostrando mayor actividad durante la fase de apoyo. Desde el despegue de los dedos hasta la fase de despegue del talón, es decir, de un 10% hasta el 40% del ciclo de la marcha. Los gastrocnemios se contraen levemente al inicio de la oscilación, ayudando a la flexión de la rodilla.
- Peroneo Largo y Corto: Estos se muestran activos, después del despegue del talón de un 20% al 30% del ciclo de la marcha. Estos músculos ayudan a contrarrestar la inversión del pie, además de ayudar a mantener una alineación y estabilidad de la articulación subastragalina.
- Músculos intrínsecos del pie: Se activan en el punto medio de la fase de apoyo hasta el despegue de los dedos del pie de un 30% al 60% del ciclo de la marcha. Estos músculos estabilizan el antepié y elevan el arco longitudinal media, permitiendo la plantiflexión en la fase de apoyo y pre-oscilación. (Neumann, 2007)

1.1.8.2 Ciclo de la Marcha. La marcha es considerada una forma de desplazamiento en una perspectiva bípeda adecuada del ser humano en la que suceden apoyo bipodal y monopodal. La marcha requiere un proceso de desarrollo y automatización. En el ser humano la marcha es un proceso que se desarrolla en sentido cefalocaudal (Véase Figura 31). (Osorio, 2013)

La locomoción humana normal se ha definido como una serie de movimientos alternos, rítmicos, de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento hacia

delante del centro de gravedad. Por esta razón en la marcha se cumple un ciclo que determina que la marcha sea normal. (Osorio, 2013)

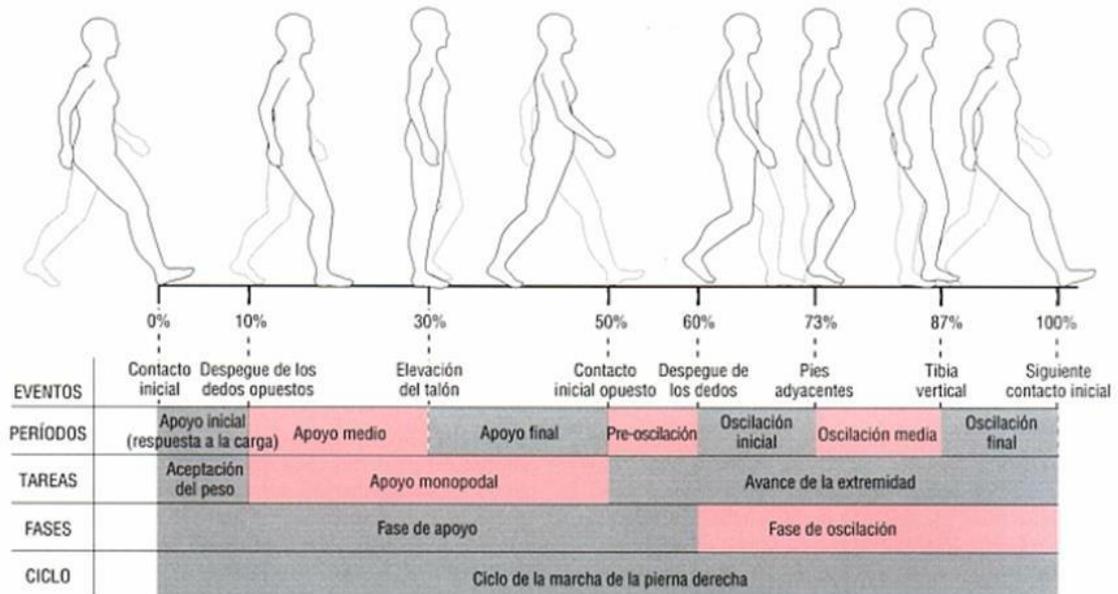


Figura 31. Eventos en el ciclo de la marcha.

Fuente: Neumann, 2007

El ciclo de la marcha se divide en dos fases:

- Fase de Apoyo: Representa el 60% del ciclo, es el momento de la marcha en el cual el pie está sobre el suelo. La fase de apoyo inicia con el contacto inicial. (Perry, 2015)

La fase de apoyo de la marcha está subdividida en cinco momentos: Contacto del talón, apoyo plantar, apoyo medio, elevación del talón y despegue del pie o de los dedos. (Recinos, 2021)

- Contacto del talón: Es considerado el instante en el que el talón genera una transferencia de peso sobre el suelo.

- Apoyo plantar: Es considerado el contacto de la parte anterior del pie con el suelo.
 - Apoyo medio: Este se presenta cuando el trocánter mayor se alinea verticalmente con el centro del pie.
 - Elevación del talón: Este se presenta cuando el talón se separa del suelo.
 - Despegue del pie o de los dedos: Esto ocurre cuando los dedos se elevan del suelo. (Recinos, 2021)
-
- Fase de Oscilación: Representa el 40% del ciclo, esta fase inicia cuando el pie es elevado del suelo. (Perry, 2015)

Esta fase se subdivide en tres momentos:

- Oscilación Inicial: Es el periodo entre el despegue de los dedos y la oscilación media, esto corresponde al 60 - 75% del ciclo de la marcha.
- Oscilación Media: Es el punto medio de la fase de apoyo de la extremidad inferior opuesta cuando el pie de la pierna oscilante pasa junto al pie que realiza la carga, representa el 75% - 85% del ciclo de la marcha.
- Oscilación Final: Es el periodo entre la oscilación media y el contacto del pie con el suelo, corresponde al 85% - 100% del ciclo de la marcha, (Véase Tabla 5). (Neumann, 2007)

Tabla 5. Terminología habitual para definir las subdivisiones del ciclo de la marcha.

Fases	Eventos	% del ciclo	Eventos de la extremidad opuesta
Apoyo	Contacto del talón (Pie plano)	0	
	Punto medio (Despegue del talón)	8 1	Despegue de los dedos del pie
	Despegue de los dedos	30 40 50 60	Punto medio de la oscilación de la pierna (25 – 35%)
Oscilación	Comienzo de la oscilación	60 -75 75 – 85	Punto medio de la fase de apoyo (80%)
	Punto medio de la oscilación	85 – 100 90	Despegue del talón del ciclo
	Final de la oscilación	100	
	Contacto del talón		

Fuente: Neumann, 2007

1.1.8.3 Parámetros de la Marcha. Durante el proceso de la marcha deben cumplirse con ciertos parámetros espaciales y temporales, que permitirán el análisis de la distancia y el tiempo que toma realizar una marcha normal. (Cámara, 2011)

Parámetros espaciales de la marcha: (Véase Figura 32).

- Longitud de la zancada: Es la distancia en la dirección de progresión entre continuos puntos de apoyo del mismo pie en el suelo.
- Longitud del paso: Es la distancia entre los puntos continuos de contacto del pie con el suelo.
- Ancho del paso: Es la distancia transversal entre el centro del talón derecho e izquierdo, suele estar entre 7 y 9 centímetros.

- Ángulo del paso: Es considerado como el grado de apertura del pie, es el ángulo que se forma entre la línea de progresión del cuerpo y el eje longitudinal del pie. (Cámara, 2011)

Parámetros temporales la marcha:

- Cadencia: Es el número de pasos en un tiempo determinado que da una persona cuando anda a velocidad directa.
- Tiempo de zancada: Es intervalo entre dos apoyos continuos del mismo pie en el suelo.
- Tiempo del paso: Es el tiempo de la conclusión de un paso de la extremidad derecha e izquierda. (Cámara, 2011)

Parámetros espaciales/temporales de la marcha:

- Velocidad de la marcha: Es la distancia que camina una persona en un tiempo determinado. (Cámara, 2011)

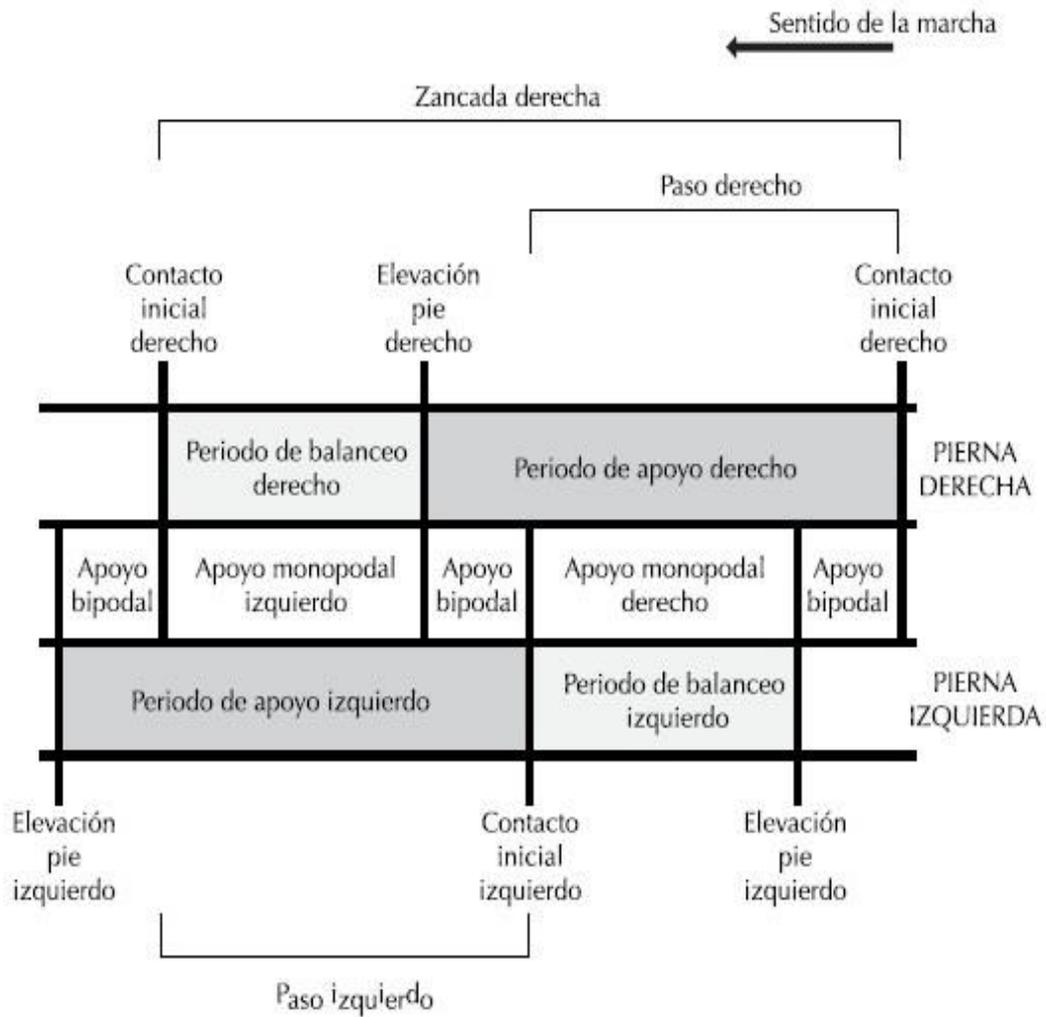


Figura 32. Representación gráfica de los periodos de la marcha.

Fuente: Cámara, 2011

1.1.8.4 Alteraciones de la marcha. Los trastornos de la marcha se caracterizan por una alteración de todos los parámetros que intervienen en una marcha fisiológica a causa de una enfermedad. Las alteraciones de la marcha se producen por una lentificación de la velocidad de la marcha, alteraciones en el paso, inestabilidad, modificación en la sincronía de las extremidades superiores e inferiores, creando ineficiencia para el desplazamiento alterando las actividades de la vida diaria y su independencia. (Cerde, 2010)

- **Marcha hemipléjica:** Está causada por hemiplejia o paresia de extremidad inferior como consecuencia de un ECV u otra lesión cerebral. La extremidad inferior se encuentra flexionada hacia la cadera, con una extensión de rodilla y el pie en plantiflexión. La persona con este tipo de marcha tiende a balancear la pierna formando un arco hacia fuera para asegurar el despegue del pie, como en circunducción. Además, presentan una flexión lateral del tronco hacia el lado sano. Presentan una base de sustentación pequeña por lo que el riesgo a sufrir caídas es alto.
- **Marcha en tijera:** Es un tipo de marcha en la que la persona presenta una circunducción bilateral. Las piernas realizan cruce al caminar. Los dorsiflexores del tobillo están debilitados y los pies son arrastrados por el suelo. Presentan pasos cortos y son realizados con mucho esfuerzo.
- **Marcha Apráxica:** Se presenta una base de sustentación muy amplia, la postura es ligeramente flexionada, los pasos son cortos, vacilantes y con arrastre. Suelen presentar mucha dificultad al inicio de la marcha, ya que requiere la realización de un gran esfuerzo el levantamiento del pie, mientras que durante el reposo los movimientos son adecuados.
- **Marcha atáxica:** Base de sustentación intacta y los pasos son fuertes. Se presenta una pérdida de sentido de la posición, por lo que no saben dónde están posicionados sus pies y son llevados hacia adelante y afuera. Presentan problemas de equilibrio.
- **Marcha atáxica cerebelosa:** Presentan una base de sustentación amplia con pequeños pasos, son irregulares e inseguros. Se acompaña de fluctuaciones y oscilaciones de un lado a otro, hacia delante o hacia atrás.

- Marcha vestibular: Realizan pasos hacia delante y hacia atrás, se produce una desviación angular que será izquierda o derecha en dependencia de la localización de la lesión. Suele aparecer en problemas de laberinto.
- Marcha en Steppage: Existe un levantamiento exagerado de los pies del suelo. Suelen formar un ángulo recto con el muslo y la pierna con el pie péndulo y los dedos están enderezados hacia abajo. (Cerde, 2010)

1.1.8.5 Evaluación de la marcha. El estudio y análisis de la marcha humana es una herramienta diagnóstica importante en la evaluación de patologías neuro músculo esqueléticas, ya sean transitorias o permanentes, locales o generales. Algunas de las alteraciones por las que se decide evaluar la marcha es por la presencia de dolor, que lleva a adoptar posturas antiálgicas, enfermedades debilitantes, enfermedades que alteren áreas motoras o incluso problemas psicológicos o psiquiátricos. (Villa, 2008)

Valoración Cualitativa:

- Bipedestación estática con ojos abiertos y con ojos cerrados, debemos observar el posicionamiento del tronco, cabeza, tendencia hacia la lateralización, y la respuesta ante desestabilizaciones.
- Inicio de la marcha, velocidad y ritmo. Aparición de aceleración brusca durante ella (festinación), al igual que presencia de detenciones ocasionales.
- Amplitud de la base de sustentación al caminar, longitud y regularidad del paso.
- Braceo.
- Giros, capacidad para superar obstáculos, superficies por las que camina.
- Presencia de movimientos anormales o asimétricos.
- Esfuerzo para caminar y presencia de fatiga, distancia que puede recorrer.

- Subir y bajar escaleras, con o sin ayuda.
- Ayudas técnicas como: el uso de bastones, trípodes o muletas.
- Posibilidad de realizar otras actividades mientras camina, como hablar o mover la cabeza.
- Maniobras específicas como marcha en tándem o de puntillas. (Sánchez, 2017)

Valoración Cuantitativa:

- Test Timed Up and Go: Este test evalúa el equilibrio dinámico del paciente. Se mide el tiempo que el paciente tarda en levantarse de una silla con apoyabrazos, caminar tres metros, dar la vuelta, caminar otros tres metros y sentarse de nuevo en la silla. El tiempo normal suele ser de 10 segundos, superior a 20 segundos corresponde a una marcha con dificultades evidentes.
- Test de Tinetti: Son dos subescalas de equilibrio y marcha. Una puntuación menor a 19 contando ambas escalas supone un alto riesgo a la hora de sufrir caídas. Se mide el equilibrio estático y patrones de marcha como longitud de paso, elevación de la pierna, simetría de ambas piernas, desviación del camino y base de sustentación o apoyo. (Sánchez, 2017)
- Escala de Berg: Se encarga de medir las alteraciones del equilibrio y las dificultades para volver a caminar, identifica el deterioro del equilibrio durante las actividades funcionales. Cuenta con 14 ítems (se puntúan de 0-4 puntos). La puntuación total oscila entre 0 (gravemente afectado) a 56 (muy buen equilibrio).
- Test Two/six minute walking: Este test mide el recorrido que el paciente es capaz de realizar en dos o seis minutos. Se mide la resistencia a la fatiga y la marcha por exteriores. Con este test se obtiene el parámetro de la velocidad de la marcha y los cambios que realiza de aceleración o desaceleración. (Sánchez, 2017)

1.1.9 Accidente cerebrovascular

1.1.9.1 Definición. La Organización Mundial de la Salud [OMS], define al accidente cerebrovascular como: “un síndrome clínico de desarrollo rápido debido a una perturbación focal de la función cerebral de origen vascular y de más de 24 horas de duración”.

(Moyano, 2010)

Según González y Landínez (2016), el accidente cerebrovascular es una pérdida súbita de la función neurológica, a consecuencia de una alteración focal en la vascularización encefálica.

1.1.9.2 Factores de riesgo. El ECV está relacionado a hábitos, estilo de vida y factores de riesgo que pueden ser identificados a tiempo para intervenir en su prevención y control. Esta identificación temprana puede reducir la incidencia y mortalidad, así como las graves secuelas y problemas que ocasiona esta enfermedad. De esta forma establecer estrategias y medidas de control en las personas que todavía no han sufrido la enfermedad o reducir las recidivas en quienes la han sufrido (Véase Tabla 6). (Cruz, 2020).

Tabla 6. Factores de riesgo en el Accidente Cerebrovascular.

Factores de Riesgo No modificables	Factores de Riesgo Modificables	Factores de Riesgo Modificables potenciales
- Edad	- Hipertensión arterial	- Dislipidemia
- Sexo	- Cardiopatías de alto riesgo:	- Tabaquismo
- Herencia	· Fibrilación Auricular	- Alcoholismo
- Raza	Enfermedad del seno	- Obesidad
- Geografía	· Infarto agudo al Miocardio	- Sedentarismo
- Clima	Prótesis valvulares	- Cardiopatías de bajo-medio riesgo
	· Estenosis mitral	· Foramen oval permeable
	· Trombo intracardiaco,	· Aneurisma
	· Mixoma auricular	· Tabique interauricular
	· Endocarditis infecciosa	· Calcificación del anillo mitral
	· Aneurisma/aquinesia ventricular izquierda	- Anticonceptivos orales
	- Marcadores de ateromatosis (estenosis asintomática de carótida, cardiopatía isquémica, enfermedad arterial periférica).	- Menopausia
	- Diabetes mellitus	- Sedentarismo
	- Drogas ilícitas	- Migraña
	- Obesidad	- Diátesis trombótica

Fuente: Ruíz, 2002

1.1.9.3 Clasificación del ECV. Los tipos de accidente cerebrovascular dependen de la naturaleza de la lesión, se dividen en dos grupos: ECV isquémico y ECV hemorrágico. Aproximadamente el 85% de los casos equivale al ECV isquémico, mientras que el 15% corresponde al ECV hemorrágico. (Ministerio de Ciencias e Innovación, 2009)

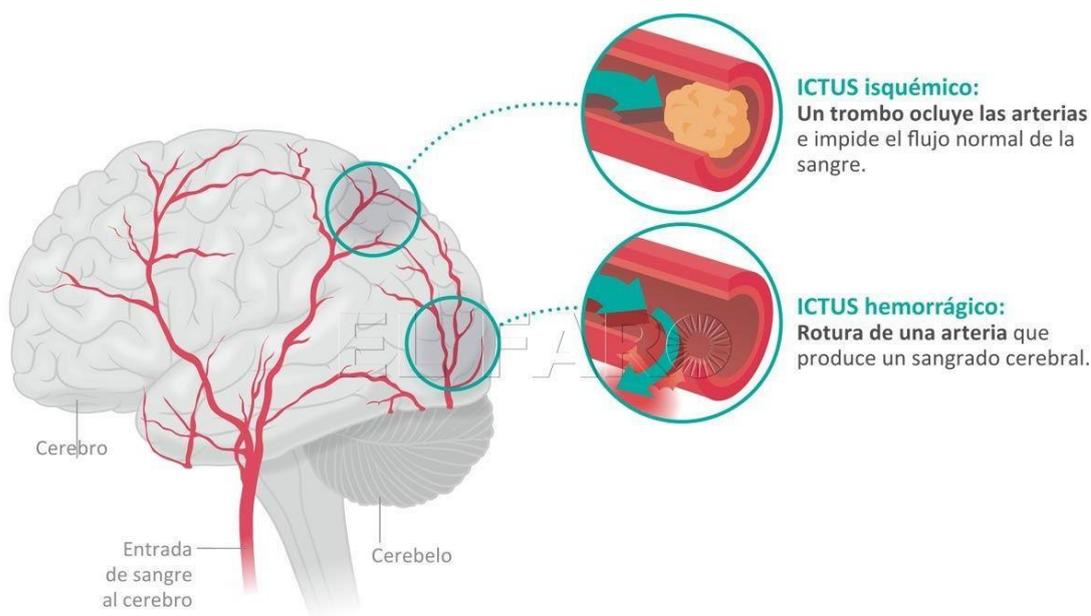


Figura 33. Tipo de ECV.

Fuente: Altable, 2020

1.1.9.3.1 ECV Isquémico. Ictus isquémico. Es un episodio de déficit encefálico focal que aparece como consecuencia de una alteración circulatoria en una zona del parénquima encefálico. La alteración puede ser cuantitativa: cantidad de sangre que se aporta al encéfalo (trombosis, embolia, bajo gasto cardiaco); o cualitativa: calidad de sangre (anemia, trombocitosis, policitemia). Dependiendo de cómo evolucione durante las primeras horas, se puede distinguir dos grandes tipos de ictus isquémicos (Véase Figura 33).

1.1.9.4 Etiología. Las causas principales por las que se presenta un ECV es cuando un vaso sanguíneo responsable de transportar sangre al cerebro se rompe o es obstruido por un coágulo de sangre. Por este bloqueo, una parte del cerebro no obtiene el flujo de sangre que necesita. A consecuencia de este bloqueo las células nerviosas del área del cerebro afectada no reciben el suficiente oxígeno, interrumpiendo su adecuado funcionamiento y

provocando la muerte de estas células pasados unos minutos. Otra causa es la acumulación de placa de ateroma en las paredes de las arterias importantes, las cuales pueden desarrollarse en su mayoría a nivel de la bifurcación carotídea provocando una isquemia en una zona del cerebro. Esta isquemia puede manifestarse de manera transitoria, cuando las manifestaciones clínicas duran menos de 24 horas o una isquemia definitiva conocida como ECV. (Giuria, 2010)

1.1.9.5 Fisiopatología. El ECV, es la disminución del flujo sanguíneo a nivel del encéfalo, esto provoca alteraciones metabólicas y bioquímicas que da como resultado una necrosis de las células nerviosas. La presión de perfusión cerebral está determinada por la diferencia que existe entre: presión media de las arterias cerebrales, presión intracraneal y presión venosa. En condiciones no patológicas, la presión de perfusión es igual a la presión arterial de las arterias de tamaño medio. Se toma esta como referencia, ya que la presión venosa e intracraneal son muy pequeñas. (Muñoz, 2013)

El cerebro consume una gran cantidad de energía. Según Muñoz (2013), esta se puede dividir por tercios: mantenimiento de la sinapsis, transporte de iones y preservación de su estructura. Al existir una disminución de la perfusión cerebral, se van creando alteraciones que van en aumento, provocando así muerte celular. La disminución del flujo sanguíneo cerebral [umbral bajo] provoca alteraciones en la transmisión sináptica, si este flujo desciende aún más, ocurre una despolarización de las membranas.

En el ser humano un flujo sanguíneo menor a 30 ml/100g/min ocasiona daños neurológicos, por debajo de esa cantidad ocurre:

- 20 ml/100g/min se suprime la actividad electroencefalográfica
- 12 ml/100g/min se produce una suspensión de los potenciales de acción

- menor a 10 ml/100g/min las membranas celulares se despolarizan

Cuando ocurre una obstrucción de un vaso sanguíneo, las células del núcleo donde ocurre el evento, se mueren en pocos minutos. También ocurren daños significativos en la periferia de la lesión, ocurriendo de la misma forma daño celular. (Muñoz, 2013)

1.1.9.6 Signos y síntomas. Los síntomas y signos que se presentan en un ECV son muy variados, es decir, pueden ser síntomas únicamente sensoriales o motores o una combinación de ambos, sensitivos motores, (Véase Tabla 7). (Vela, 2019)

Si el ECV no pudo prevenirse es importante saber reconocer los síntomas y síntomas que este presenta, para reducir de forma inmediata el daño cerebral que pueda ocasionar. Cada minuto transcurrido posterior al accidente cerebrovascular es concluyente para prevenir los daños en la actividad motora del cuerpo. Ante el primer síntoma presentado es muy importante acudir al médico para un pronto diagnóstico y tratamiento. (Vela, 2019)

Los síntomas y signos son:

Tabla 7. Signos y Síntomas del Accidente Cerebrovascular

Trastornos del lenguaje	Disartria Afasia
Trastornos motores	Hemiparesia/ Hemiplejía. Unilateral/Contralateral Monoparesia /Monoplejia. Unilateral/ Contralateral Parálisis facial
Trastornos oculares	Pérdida de la visión Ptosis Palpebral Diplopía
Trastornos sensitivos	Cefalea Disestesias Parestesias

Trastornos del equilibrio y la coordinación	Pérdida del equilibrio Apraxia
Trastornos de la conciencia	Amnesia Trastorno personalidad Cambios estado de ánimo Somnolencia Letargo Pérdida del conocimiento

Fuente: (Rodríguez, 2018)

1.1.9.7 Complicaciones. Derivado a un ECV se produce un daño en determinado sitio del cerebro, este daño puede ser reversible o irreversible, en el cual se debe tomar en cuenta la edad y el estado previo del paciente. El ECV hemorrágico presenta un riesgo más alto de muerte que el ECV isquémico, las muertes que ocurren dentro de la primera semana después del ECV son a causa de los efectos directos del daño cerebral provocados por el mismo. Las causas de muerte posteriores a esta primera semana se deben a las complicaciones por la inmovilidad que el paciente presenta, como la bronconeumonía, el tromboembolismo venoso, y accidentes cardíacos son cada vez más usuales. (Moreno, 2016)

- **Edema cerebral:** es una de las causas de mortalidad en la fase aguda de los ECV isquémicos. Se presenta con mayor frecuencia en infartos extensos y dependientes de grandes vasos, suele estar relacionado con la aparición de citotoxicidad en la zona infartada, por la acumulación de productos tóxicos a consecuencia de la necrosis y de la isquemia tisular.
- **Infecciones:** Las infecciones más usuales son las respiratorias. Por aspiración y las neumonías asociadas a intubación que tienen una alta mortalidad, por lo que deben ser tratadas tempranamente. (Moreno, 2016)

- **Alteración de la deglución:** La disfagia y la ingesta por déficit motor son usuales posterior al ECV. Se inicia una alimentación con fluidos, lo cual llega a ser insuficiente para el paciente poniendo en riesgo su estado nutricional provocando una desnutrición, la cual se asocia con un aumento de mortalidad, una mayor estancia hospitalaria y un aumento de complicaciones.
- **Úlceras por presión:** Las úlceras por presión son una complicación que enlentece la recuperación del paciente. Su prevención se basa en los cambios posturales frecuentes y la utilización de colchones y almohadas adecuados, durante el tiempo que el paciente permanece encamado. (Moreno, 2016)
- **Trombosis venosa profunda:** Su prevención se basa en la movilización precoz, y en la utilización adecuada de la heparina a dosis profilácticas.
- **Hemorragia digestiva:** Complicación poco frecuente que suele ser a causa del uso de corticoides, antiinflamatorios no esteroideos o anticoagulantes, o por el estrés provocado por el ECV. (Moreno, 2016)
- **Accidente cerebrovascular recurrente:** Posterior un ECV, el paciente presenta un mayor riesgo de padecer otro. Después de cinco años, el riesgo aumenta hasta el 16,6%, presentando un mayor riesgo de muerte que los anteriores.
- **Alteraciones del estado mental:** Después de un ECV, el estado mental de un paciente se ve afectado de forma permanente. A consecuencia del daño irreversible en el cerebro, provocando un deterioro progresivo de la función cognitiva. (Moreno, 2016)

1.1.9.8 Diagnóstico. El ECV isquémico es diagnosticado por medio de un examen clínico, la historia clínica y estudios imagenológicos, los cuales se realizan con el propósito de detectar la hemorragia, el grado de la lesión y la identificación del territorio vascular afectado. (García, 2019).

Algunos estudios utilizados para el diagnóstico del ECV son:

- **Análisis Hematológico.** Se realiza una serie de análisis de sangre, determinando si hubo formación de coágulos en sangre, el azúcar en sangre es anormalmente alto o bajo en pacientes que han sufrido un ECV, si las sustancias químicas sanguíneas críticas están desequilibradas o si está presente alguna infección. Manejar el tiempo de la coagulación sanguínea, los niveles de azúcar y otras sustancias químicas son claves para determinar el tratamiento. (Alrashi, 2019)
- **Tomografía computarizada (TAC).** En la exploración por tomografía computarizada se recaudan una serie de imágenes detalladas del cerebro, las cuales pueden mostrar el área en específico donde ocurrió el accidente cerebrovascular. (Véase Figura 34 y 35).
- **Imágenes por resonancia magnética (RM):** Por medio de la RM se crea una vista detallada del cerebro que puede detectar el tejido cerebral dañado por un ECV isquémico y hemorragias cerebrales. (Alrashi, 2019)

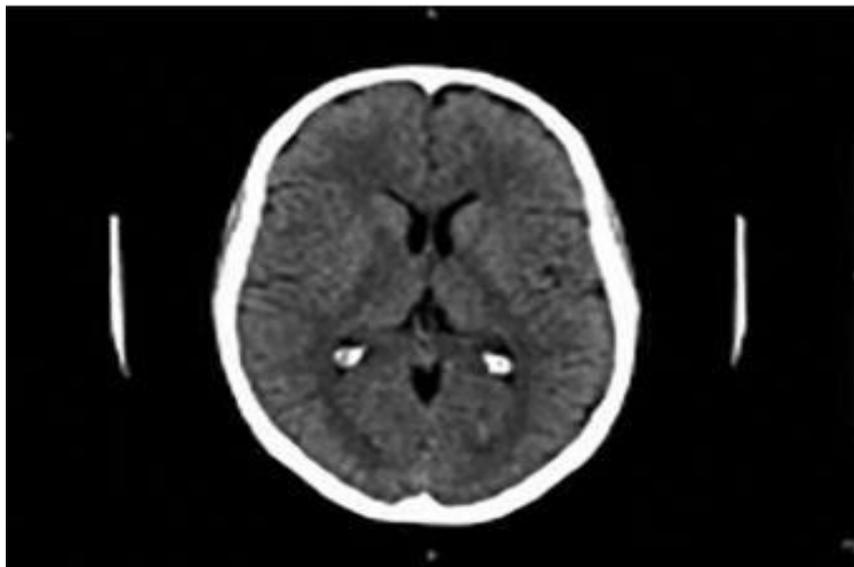


Figura 34. Tomografía Computarizada de un cerebro normal.

Fuente: Fustinoni, 2021

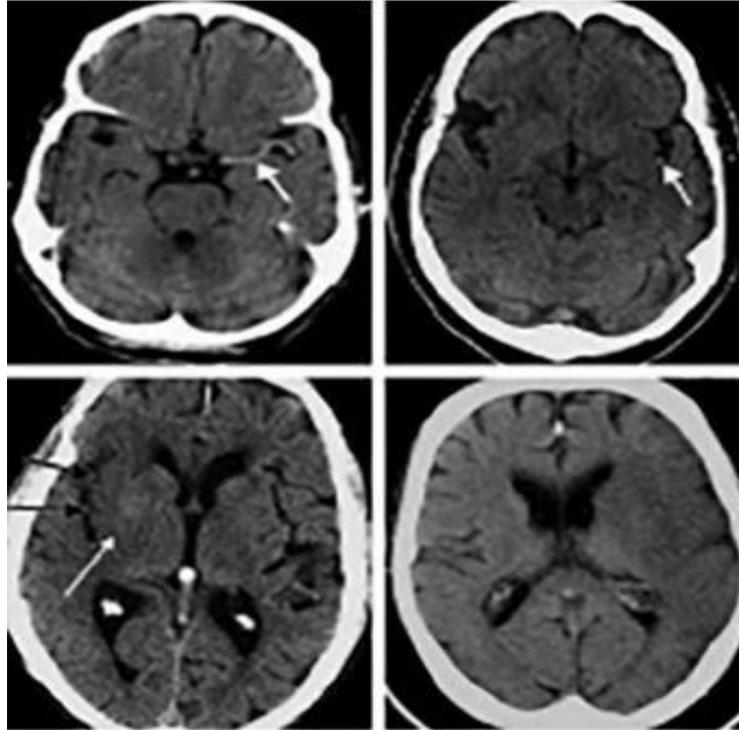


Figura 35. Tomografía Computarizada del encéfalo, cortes axiales. ECV agudo. Signos precoces de isquemia aguda.

Fuente: Fustinoni, 2021

1.1.9.9 Escalas de Evaluación. Es de vital importancia y de ayuda para un buen diagnóstico y preciso, la utilización de una serie de escalas estandarizadas en la evaluación y en el examen físico, con el fin de documentar posibles déficits y la gravedad en la que se encuentra el paciente con ECV. (Pigretti 2019)

A continuación, se presentan algunas de las escalas más utilizadas:

- National Institute of Health Stroke Scale (NIHSS): Escala más empleada para la evaluación de funciones neurológicas básicas en la fase aguda del ECV isquémico, es aplicable tanto al inicio como durante la evolución del paciente. Esta escala está constituida por 11 ítems que permiten explorar de forma rápida las funciones corticales, los pares craneales superiores, la función motora, sensibilidad,

coordinación y lenguaje. Permite detectar fácilmente mejoría o empeoramiento neurológico en el paciente (Véase Anexos 1). (Rodríguez, 2018)

- Escala Neurológica Canadiense (CNS): Escala de valoración neurológica, sencilla, que evalúa aspectos cognitivos como la consciencia, lenguaje y orientación, estableciendo las posibilidades de comunicación con el paciente y sus habilidades motoras. Además, se puede aplicar como escala funcional ya que permite precisar las actividades de la vida diaria que se verán afectadas según las limitaciones encontradas y la afectación en la calidad de vida. Es útil en pacientes afásicos o con dificultad para comunicarse. Se considera como normal una puntuación máxima de 10 puntos y como máxima incapacidad neurológica una puntuación de 1.5 (Véase Anexos 2). (Fernández, 2015)
- Glasgow: Escala más publicada para valorar las alteraciones de la conciencia tanto en el momento inicial como posterior al ECV. Asigna una puntuación basada en tres parámetros de función neurológica: apertura ocular, mejor respuesta verbal y mejor respuesta motora. Según el puntaje obtenido en esta escala se tiene tres posibilidades: leve: 13 a 15 puntos; moderado: 9 a 12 puntos y severo: 8 o menos (Véase Anexos 3). (Fernández, 2015)
- Índice de Barthel: Es una de las escalas más completas, valoran la independencia en las actividades de la vida diaria del paciente. Es útil en la valoración a largo plazo del pronóstico y evolución del paciente con ECV. Es válida, fiable, capaz de detectar cambios y fácil de interpretar y de aplicar, e incluso con buena correlación con escalas similares. Consta de diez ítems en los que se valora de 0 a 10 o de 0 a 15 puntos con sus respectivas discapacidades en los apartados propuestos (Véase Anexos 4). (Bermejo, 2008)

- Escala de Rankin Modificada: Esta es una de las escalas más utilizadas para cuantificar la discapacidad de los sobrevivientes a un ECV. Puntúa desde “asintomático” cero puntos hasta “hándicap grave” cinco puntos. En algunas reproducciones de la escala se añade la categoría “muerte” seis puntos. Es de amplio uso en el ámbito epidemiológico poblacional, se ha mostrado su validez y elevada correlación con otras escalas, como la de Barthel (Véase Anexos 5). (Bermejo, 2008)

1.1.9.10 Tratamiento Médico. Un ECV es considerado una emergencia médica ya que el tratamiento inmediato puede salvar la vida de la persona que lo padece y reducir los problemas posteriores al accidente, es por esta razón que es de suma importancia actuar ante los primeros signos de accidente cerebrovascular. (Soria, 2014)

Si el ECV es por un coágulo sanguíneo, se inicia con administración de fármacos trombolíticos para disolverlo. Para que este medicamento sea efectivo, es necesaria la atención médica, el tratamiento debe iniciarse dentro de las primeras 3 a 4 1/2 horas desde la aparición del primer síntoma.

- Anticoagulantes, como heparina o warfarina (Coumadin), ácido acetilsalicílico (aspirin) o clopidogrel (Plavix).
- Medicamentos para controlar la hipertensión arterial.
- Procedimientos especiales como cirugías para aliviar los síntomas o prevenir más ECV.
- Nutrientes y líquidos especializados para estabilizar al paciente.
- Una sonda de alimentación en el estómago (sonda de gastrostomía) debido a que la mayoría de los pacientes presentan dificultades para la deglución. (Soria, 2014)

1.1.9.11 Tratamiento Fisioterapéutico. El proceso de rehabilitación del paciente con ECV es un proceso limitado en el tiempo y debe ser orientado por objetivos para lograr avances significativos en el paciente. La atención fisioterapéutica tiene como finalidad fundamental tratar y compensar los déficits adquiridos tras el ECV, de esta forma minimizar la discapacidad para conseguir la mayor capacidad funcional, facilitando la independencia y la reincorporación del paciente a su entorno familiar, social y laboral. Se debe tener en claro que se requiere de un abordaje interdisciplinario. (Hernández, 2017).

Algunas de las alteraciones tras un ECV y que deben ser tratadas por fisioterapia son:

- Alteraciones del movimiento y de la coordinación
- Alteraciones del tono muscular
- Alteraciones del control postural y del equilibrio
- Incapacidad o alteraciones en el patrón de marcha
- Alteraciones sensitivas
- Afecciones de la motricidad fina y gruesa en manos
- Alteraciones de la musculatura de la cara
- Alteraciones del lenguaje
- Trastornos cognitivos. (Asociación Sevillana de ICTUS, 2020)

Fase aguda (Sin participación activa del paciente): El paciente no será capaz de participar activamente, se deben realizar cambios posturales por lo menos cada 3 a 4 horas.

- En decúbito lateral sobre lado sano
- En decúbito lateral sobre lado afecto
- De decúbito supino a sedestación
- De decúbito supino, sedestación en cama a sedestación en silla de ruedas

- De sedestación en silla de ruedas a bipedestación es estabilizadores

Fase subaguda (Con participación activa del paciente): El paciente presenta mejora y puede colaborar de forma activa, se sigue empleando los cambios de posición en cama, sedente, sedente en silla de ruedas y bipedestación se debe integrar el ejercicio.

(Asociación Sevillana de ICTUS, 2020)

Ejercicio: Son importantes para la potenciación de la musculatura del tronco y de extremidades superiores e inferiores.

Ejercicios en decúbito supino:

- Ejercicios para la inhibición de espasticidad
- Ejercicios para el reentrenamiento de actividad muscular abdominal selectiva
- Ejercicios de rotación de tronco
- Ejercicios para extremidades inferiores
- Ejercicios para extremidad superior

Ejercicios en sedestación:

- Ejercicios de transferencia de peso sedente
- Ejercicios para miembro superior y flexión de tronco
- Ejercicios de enderezamiento de columna
- Ejercicios para la inhibición de la pronación de antebrazo
- Ejercicios para activar la extensión de los dedos. (Asociación Sevillana de ICTUS, 2020)
- Ejercicios en bipedestación
- Ejercicios de equilibrio

- Ejercicios para la transferencia de peso en extremidades inferiores

Reeducación de la marcha en barras paralelas

Reeducación de la marcha con ayudas técnicas como andador y bastón. (Asociación Sevillana de ICTUS, 2020)

1.2 Antecedentes Específicos

1.2.1 Rehabilitación robótica. La discapacidad afecta a la independencia de los pacientes, restringiendo aspectos importantes en su calidad de vida. El costo de la discapacidad trae consigo aparte de la dependencia, problemas económicos y sociales.

Una de las áreas que contribuye a mejorar la vida de los pacientes con alguna discapacidad, es la robótica. Esta pertenece a la ingeniería, y actualmente contribuye al área de la salud rehabilitadora. (Acevedo, Caicedo y Castillo, 2017)

1.2.1.1 Robótica. Se puede definir a la robótica como la disciplina que engloba el diseño, fabricación, control y programación de robots, utilizando estos para resolver problemas.

Por otra parte, un robot se define como un aparato mecánico que realiza actividades similares a las que ejecuta un ser humano. (Sanz, 2006)

1.2.1.1.2 Historia de la robótica. Es importante tener un recuento histórico de la robótica (Véase Tabla 13), se detallan las fechas más relevantes que dieron pie a la robótica moderna.

Tabla 8. *Historia de la Robótica.*

Año	Autor	Aporte
1497	Leonardo da Vinci	Primer estudio serio sobre un posible robot antropomorfo
1818	M. Shelley	Análisis de posibles consecuencias de una máquina construida a semejanza del hombre
1921	Karel Čapek	Introduce en su famosa obra de teatro dicho concepto
1948	Wiener	Acuña este concepto de “cibernética”, que analiza las causas y los efectos del control en el hombre y en la máquina
1954	Devol	Era de la robótica
1956	Unimation	Creador de la primera empresa de robots industriales
1960	McCarthy	Acuña dicho término
1976	NASA	Sondas americanas que alcanzan la superficie de Marte
1978	PUMA	Program Universal Assembly, de Unimation, es desarrollado para la General Motors.
1980	Sin autor	Robots móviles, se potencia la comunicación hombre-robot mediante visión, voz, etc.
1990	NASA	Robot de servicio hacia el espacio
2000	Sin autor	1er Congreso Internacional sobre “Robots humanoides”

Fuente: *Elaboración propia con información de Sanz, 2006*

1.2.1.2 Ingeniería de Rehabilitación. “La ingeniería de rehabilitación puede ser definida como: La aplicación de soluciones tecnológicas a los diferentes problemas que podrían enfrentar en la cotidianidad personas con discapacidad. En la actualidad, como resultado del acelerado avance en tecnologías para rehabilitación aplicadas en terapias; se puede proponer el concepto: Nuevas Tecnologías en Rehabilitación. La rehabilitación robótica frente a la rehabilitación tradicional presenta ventajas y desventajas” (Véase Figura 36). (Acevedo, Caicedo y Castillo, 2017, p.105)

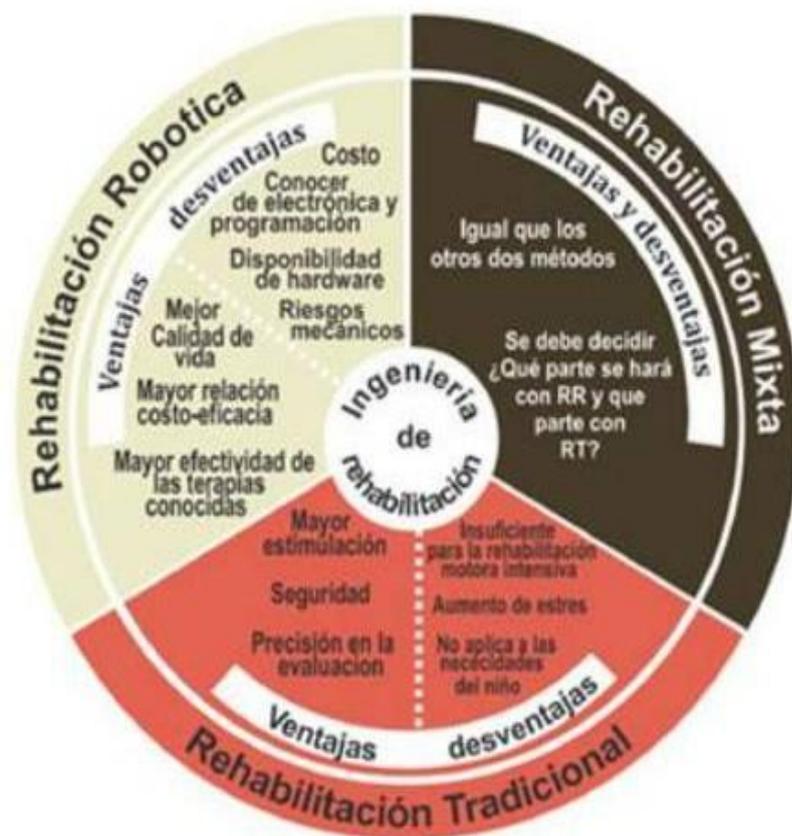


Figura 36. Ventajas y desventajas de la Rehabilitación Robótica.

Fuente: Acevedo, Caicedo y Castillo, 2017

1.2.2 Lokomat. Es una órtesis que ayuda a realizar la marcha por medio de un control robótico para el dominio de la postura. Consta de un método de soporte de peso corporal y una cinta de correr, se utiliza un arnés conectado al sistema de soporte del peso corporal, sobre el paciente. La órtesis de marcha se coloca en las articulaciones de la cadera y la rodilla del paciente para ajustar los movimientos según las necesidades de cada paciente. (de León, 2021)

1.2.2.1 Historia. Fue creado por el ingeniero eléctrico Gery Colombo, el cual obtuvo sus conocimientos médicos especialmente en la rehabilitación neuronal, en el Hospital Universitario Balgrist de Zürich. Colombo, junto con otros colegas son los creadores de la empresa Hocoma. (Flores, 2018)

La idea de desarrollar un aparato como el Lokomat fue desarrollada en 1996 por Gery y el profesor Volker Dietz del Centro de Lesiones de la Médula Espinal de la Universidad de Zürich, esta idea se llevó a cabo antes de que se fundara la empresa Hocoma. El primer Lokomat se fabricó en los años 2000 en colaboración con la universidad antes mencionada. El fin era facilitar la rehabilitación de la marcha. (Flores, 2018)

1.2.2.2 Diseño. El Lokomat es una órtesis que impulsa marcha, permitiendo la automatización de la terapia de locomoción en una caminadora, mejorando la eficiencia del entrenamiento en cinta rodante. El Lokomat mejora el resultado de la terapia, proporcionando entrenamiento individualizado altamente intensivo en un ambiente motivacional con una retroalimentación constante hacia el paciente (Véase Figura 37). (DIH Médico, 2022)

Características:

- Órtesis impulsada (robot de la marcha) con accionamientos eléctricos en las articulaciones de rodilla y cadera con 4 transductores de fuerza con 4 amplificadores.
- La órtesis es adaptable a personas con longitudes de fémur (trocánter a la cavidad articular de la rodilla) de 35 - 47 cm y la anchura de la pelvis (cuando se usa sin módulo FreeD) de 29 - 51 cm.
- Retroalimentación de Rendimiento Aumentado con ejercicios funcionales y divertidos juegos para la motivación del paciente.
- Evaluación e información Herramientas para registrar el rendimiento del paciente.
- Opción de Órtesis pediátricas, adaptables a los niños pequeños con longitudes de fémur (trocánter a la cavidad articular de la rodilla) 21 – 35 cm y ancho de la pelvis 17 - 28 cm.
- Módulo opcional FreeD para movimientos impulsados de la pelvis (anchura pélvica 29 - 40 cm), movimientos pasivos guiados de abducción/aducción de la cadera y apoyo del peso corporal sincronizado lateralmente. El módulo FreeD no es compatible con órtesis pediátricas. (DIH Médico, 2022)

Espacio (Largo × Ancho):

- 325 cm × 155 cm (con puerta giratoria cerrada)
- 350 cm × 214 cm (con puerta giratoria abierta)

Altura (sin módulo):

- 239 cm sin extensión

- 246 cm con extensión

Altura (con módulo FreeD):

- 247 cm sin extensión
- 254 cm con extensión
- Peso: 1000 kg

Caminadora

- Rango de Velocidad 0 - 10 km/h (Trabajando el Lokomat máx. 3.2 km/h)
- La altura y anchura de ambos pasamanos se ajustan independientemente
- Sillas ajustables para terapistas
- Sistema de rampa compatible con sillas de ruedas usadas comúnmente. (DIH Médico, 2022)

Soporte de Peso del cuerpo Levi:

- Elevador de pacientes, operado eléctricamente con descarga estática y dinámica
- Peso máximo paciente: 135 kg (297.6 lbs)
- Rango del soporte de peso es de 0 a 85 kg aproximadamente (187.4 lbs), de ajuste continuo y sin interrupción de formación
- Soporte de peso casi constante y fuerzas de baja inercia (patente pendiente)
- Controlado por ordenador a través de la unidad de operación del Lokomat
- Display electrónico del paciente y de la descarga de peso. (DIH Médico, 2022)

Principales conexiones

- 2 x 220 - 240 V~ / 50 - 60 Hz

- 2 x 110 - 120 V~ / 50 - 60 Hz

Peso

- Aproximadamente 1000 kg (2204 lbs)

Dimensiones

Espacio (L x A)

- 325 cm x 155 cm (127.95 x 61 in) (puerta giratoria cerrada)
- 350 cm x 214 cm (137.8 x 84.3 in) (puerta giratoria abierta)

Altura (Sin el módulo FreeD)

- 239 cm (94.1 in) - Sin extensión
- 246 cm (96.9 in) - Con extensión

Altura (Con módulo FreeD)

- 247 cm (97.2 in) Sin extensión
- 254 cm (100 in) Con extensión

Requerimientos de Espacio

Sin el módulo FreeD:

- 5 m x 4 m x 2.5 m (196.9 in x 157.5 in x 98.4 in) (Largo x Ancho x Altura)

Con el módulo FreeD:

- 5 m x 4 m x 2.6 m (196.9 in x 157.5 in x 102.4 in) (Largo x Ancho x Altura)

Condiciones de Operación

- Temperatura: 10 °C - 30 °C
- Humedad: 30 % - 75 % humedad relativa en aire
- Presión de Aire: 700 hPa – 1060 hPa

Displays

- Monitor de la pantalla táctil de 15 pulgadas para el ajuste de entrada y control de dispositivos por el terapeuta
- Pantalla Plana de 32 pulgadas para retroalimentación de Rendimiento Aumentado del paciente

Requisitos del paciente

- Peso máximo del paciente: 135 kg (297.6 lbs)
- Altura máxima del paciente: 200 cm (78.74 in) (193 cm (75.98 in) sin la extensión).
(DIH Médico, 2022)

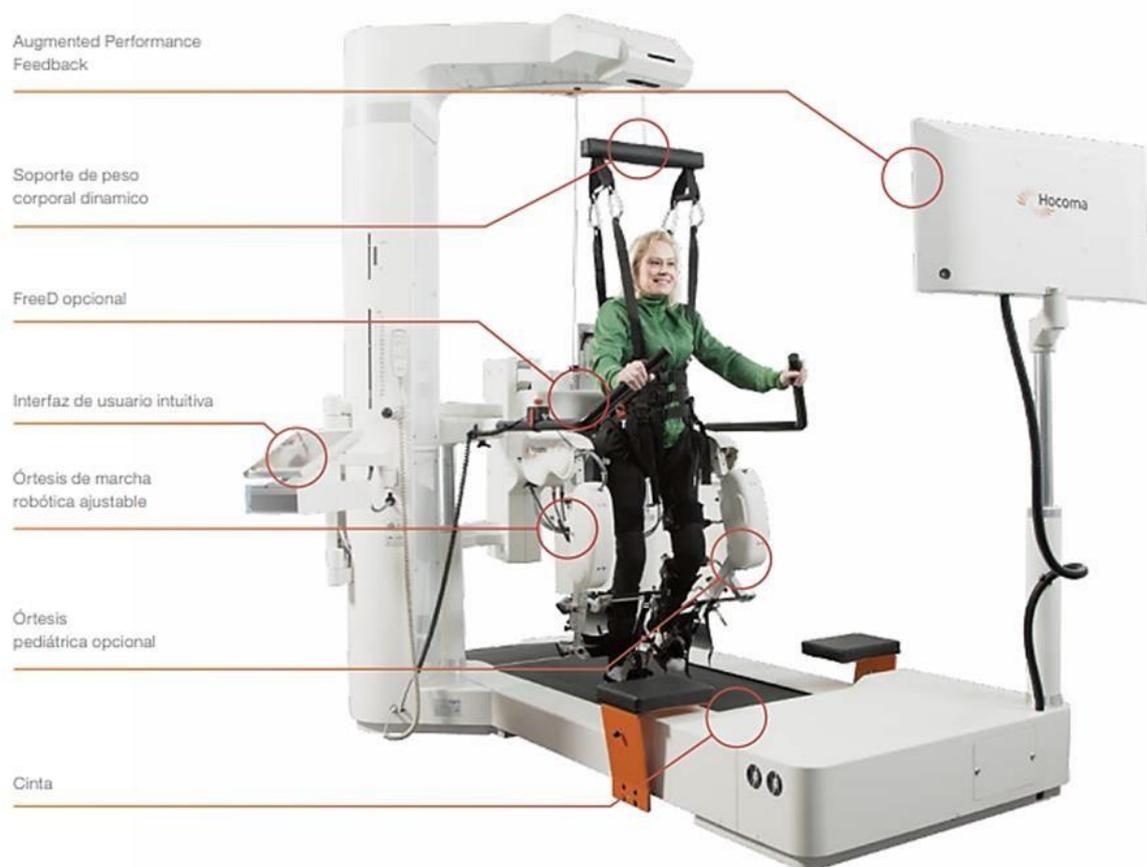


Figura 37. Sistema Lokomat.

Fuente: DIH Médico, 2022

1.2.1.2 Leyes físicas. Según Muñoz, en 2016 para crear un programa de rehabilitación física se necesita conocer los parámetros biomecánicos que actúan en el cuerpo humano. Asimismo, es necesario conocer las fuerzas que actúan sobre el mismo. Para analizar las partes del cuerpo y fuerzas físicas que actúan en cada momento al caminar se hace referencia a un ciclo de marcha.

1.2.2.3 Descripción del equipo. Según de León, en 2019 el Lokomat realiza una marcha fisiológica y se adecua a las necesidades de cada paciente. La marcha que lleva a cabo el paciente durante una sesión de terapia es el siguiente:

- a. Predefinido: El Lokomat siempre parte con un movimiento predeterminado, está basado en una marcha fisiológica, pero este patrón de marcha puede modificarse adaptando el hardware y software.
- b. Ajustes de hardware y configuración: La colocación del exoesqueleto al paciente y los ajustes realizados al aparato, influyen en el movimiento que el paciente es capaz de realizar.
- c. Ajustes de software - Rango Articular y Variación de Rango: Estos rangos se ajustan a las necesidades del paciente, los rangos que se ajustan son los de las articulaciones de la cadera y rodilla.

El Lokomat se ajusta a cada individuo lo que garantiza las necesidades del paciente, esta mejora además la motivación del paciente gracias a la visualización del feedback. El feedback y otras funciones como: velocidad, tiempo, amplitud de movimiento, peso y resistencia, ayudan al proceso de rehabilitación del usuario.

El Lokomat cuenta con la capacidad de medir la actividad del usuario por medio de transductores de fuerza que se encuentran en las piernas del exoesqueleto, de esta manera se puede ajustar el nivel de asistencia paso por paso.

1.2.2.5 Programas predeterminados. “Dentro de los principales programas de entrenamiento tenemos velocidad aleatoria, en este el ordenador selecciona aleatoriamente la velocidad dentro de los límites establecidos. El programa de rampa, la velocidad se incrementa gradualmente dentro de los límites establecidos. Pirámide, la velocidad aumenta y se reduce dentro de los límites establecidos. Apoyo y velocidad establecida, el ordenador selecciona la velocidad y el apoyo dentro de los límites establecidos”. (Muñoz, 2016, p.11)

1.2.2.6 Indicaciones y contraindicaciones. Según Hocoma, la empresa fabricante del Lokomat, las indicaciones y contraindicaciones son (Véase Tabla 9):

Tabla 9. Indicaciones y contraindicaciones del Lokomat.

Indicaciones	Contraindicaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Accidente cerebrovascular • Esclerosis múltiple • Parálisis cerebral • Parkinson • Paraplejía • Traumatismo craneoencefálico • Endoprótesis • Enfermedades articulares degenerativas de las extremidades inferiores • Atrofia muscular espinal • Debilidad muscular debido a la falta de movilidad • Pacientes hemipléjicos • Pacientes parapléjicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Órtesis no adaptada para el miembro inferior • Peso corporal superior a 135 kg • Contracturas rígidas severas • Inestabilidad ósea [fracturas no consolidadas, columna vertebral inestable, osteoporosis severa] • Lesiones cutáneas abiertas en la zona de las extremidades inferiores y tronco • Problemas circulatorios • Falta de cooperación o comportamiento agresivo • Déficits cognitivos severo • Ventilación mecánica • Pacientes con crecimiento extremadamente desproporcionado de las piernas y/o de la columna vertebral • Trastornos vasculares severos de las extremidades inferiores • Artrodesis de cadera, rodilla o tobillo

Elaboración propia, con información de Hocoma.

1.2.3 Lokomat aplicado al ECV. En el ECV una de las principales secuelas es la hemiplejía la cual altera la marcha, por lo que se necesita una técnica que genere un reaprendizaje de esta. La neurorrehabilitación robótica Lokomat, es una técnica que proporciona un feedback y crea neuroplasticidad para el paciente que sufrió un ECV. (Ullón, 2021)

1.2.3.1 Neurorrehabilitación y Neuroplasticidad. Para crear un proceso rehabilitador adecuado es imprescindible, el uso de las vías neurológicas, ya que si no se utilizan las funciones de estas se irán deteriorando. La evidencia científica muestra una relación entre la recuperación y aumento de las ramificaciones dendríticas en el hemisferio afectado, con el uso de repeticiones. Es por ello que en la neurorrehabilitación se busca la existencia de la neuroplasticidad, con el fin de crear nuevas conexiones nerviosas y lograr la independencia del paciente. (Beneitez, 2018)

1.2.3.2 ECV y Neuroplasticidad. Beneitez, 2018 refiere que los episodios de ECV, generan cambios en la sustancia gris de la zona lesional y perilesional, estos poseen relación con el grado de discapacidad. Sin embargo, el entrenamiento específico, que va orientado a la tarea, genera un incremento de la densidad de la sustancia gris ipsilesional del área sensoriomotora del cerebro afectada.

Además, involucrar al usuario en la elaboración de actividades específicas de la vida diaria, genera ganancias funcionales, así como aumento de la motivación, y permite al paciente aumentar el uso de las zonas afectadas. Aprender una tarea ha de suponer un cambio en la relación entre la velocidad del movimiento y su precisión.

La repetición de la tarea es fundamental para la adquisición de habilidades motrices. Estas repeticiones deben de estar dotadas de diversidad, con la finalidad de que el paciente sea capaz de planear el movimiento y no de memorizar la actuación que ha de realizar. Se debe de tomar en cuenta que el tratamiento debe de ser individualizado y que este se debe adaptar a las necesidades de los pacientes.

1.2.3.3 Lokomat y la Neuroplasticidad. El sistema de Lokomat, se basa en el concepto de neuroplasticidad, lo que significa indirectamente el desarrollo de las actividades cotidianas, es por ello la efectividad de este entrenamiento que une lo físico con lo cognitivo, mediante las repeticiones permite un aprendizaje en la reeducación del ciclo de la marcha, facilitando al paciente su recuperación. (Ullón, 2021)

Capítulo II

Planteamiento del Problema

En el siguiente capítulo se dará una breve descripción del accidente cerebrovascular, el cual daña un área específica del cerebro, provocando en las personas que lo padecen un déficit motor y cognitivo. Una de las secuelas más relevantes de esta patología es la alteración de la marcha, dificultando su independencia en las actividades de la vida diaria. Una de las técnicas innovadoras para corregir la marcha de estos pacientes, es la aplicación de neurorehabilitación robótica por medio del Lokomat, logrando en el paciente un biofeedback del patrón de marcha normal. El accidente cerebrovascular, es una de las patologías que más causa discapacidad en la población mundial, por lo que es de vital importancia buscar alternativas de tratamiento, innovadoras como la antes mencionada.

2.1 Planteamiento del Problema

Los eventos cerebrovasculares [ECV], también conocidos como eventos cerebrovasculares [ECV] o ictus, son un conjunto de procesos patológicos en donde un área del encéfalo es dañada de forma transitoria o permanente. Los signos y síntomas que presentan estos pacientes son: debilidad en extremidades superior e inferior, dificultad del habla, cefalea, mareos, náuseas, disfagia o disartria, marcha hemipléjica y alteración del

campo visual. Existen diferentes tipos de accidente cerebrovascular, dividiéndose en: isquémico, hemorrágico y congénito, siendo este último provocado por malformaciones arteriovenosas cerebrales. (Salas, 2019)

El accidente cerebrovascular de tipo isquémico se define como el conjunto de afecciones clínicas caracterizadas por un déficit neurológico de inicio repentino secundario a la obstrucción total o parcial de una arteria cerebral haciendo que la sangre no llegue a una parte determinada del cerebro. (Choreño, 2019)

Las personas que lo padecen pueden presentar déficit motor o sensitivo, disartria, afasia, vértigo, alteraciones visuales como amaurosis, con más de 24 horas de duración, dicha patología puede confirmarse por medio de un estudio de imagen mediante tomografía computarizada de cráneo o una resonancia magnética (Magaña, 2016). La mayoría de los pacientes que sufre un ECV tendrán secuelas, las cuales limitarán su independencia y por ende su calidad de vida. La secuela principal es la hemiplejía o también llamada hemiparesia, comprometiendo músculos, reflejos, equilibrio, propiocepción, tono muscular. Todas estas secuelas dificultan el llevar a cabo un correcto patrón de marcha. (Rodríguez, 2018)

Según la Organización Mundial de la Salud [OMS] en 2013, el ECV forma la segunda causa mundial de muerte, correspondiendo al 9.7%, de estas 4.95 millones se dan en países con ingresos medios y bajos. Además, constituye la tercera causa de muerte en países de primer mundo y su incidencia global es 1.5 a 4 casos por cada 1000 habitantes, con prevalencia de 8 a 20 por cada 1000 habitantes. (Paredes, 2019)

En el caso de Guatemala no se cuenta con una incidencia y una prevalencia exacta de enfermedades cerebrovasculares dado a la mala vigilancia y al no reporte de esta enfermedad. No obstante, en el memorial epidemiológico del año 2010 reportado por el Centro Nacional de Epidemiología, el ECV es la causa 29 de morbilidad, reportando una incidencia de 965 casos, de todos estos casos el 50.36% afecta al sexo femenino y el otro 49.64% al sexo masculino. Los últimos datos revelados por el departamento de epidemiología evidencian que en el año 2006 se reportaron 256 casos, en el año 2008, 214 y en el año 2012, 262 casos. (Morales, 2015)

Como se fue mencionado con anterioridad, una de las secuelas del accidente cerebrovascular, es la afectación en el patrón de marcha, una de las tecnologías aplicadas para el tratamiento del ECV es el Lokomat, este es una forma de terapia robótica que permite un entrenamiento para la discapacidad motora. Presenta un mecanismo repetitivo, controlado, reproducible, generando un menor esfuerzo para el terapeuta tratante. Además, permite programar diversidad de ejercicios activos, pasivos y resistidos para adaptarse a diferentes grados de control motor en las extremidades inferiores. (Ullón, 2021)

El Lokomat se utiliza concretamente para el entrenamiento de la marcha asistida en pacientes neurológicos, por medio de la repetición de una tarea específica tomando como fundamento la plasticidad neuronal. El Lokomat accionado moviliza las piernas a través de un patrón predefinido de la marcha normal, esto combinado con un sistema de cinta para correr y de soporte de peso corporal. (Ullón, 2021)

Lo que hace que se plantee la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los efectos fisiológicos de la neurorehabilitación activa en miembros inferiores para el inicio de la

deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isqu3mico?

2.2 Justificaci3n

En el presente trabajo de investigaci3n se desea dar a conocer los efectos fisiol3gicos de la neurorehabilitaci3n activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isqu3mico, para mejorar la calidad de vida y lograr la independencia de los mismos.

La aplicaci3n de la neurorehabilitaci3n rob3tica del sistema Lokomat es una t3cnica intensiva que permite la recuperaci3n del movimiento por medio de patrones r3tmicos y repetitivos, combinando las cargas de peso en las extremidades, impulsando la plasticidad neuronal cerebral y de la m3dula espinal. Este tipo de tecnolog3a permite aumentar el n3mero de repeticiones, cambiar la velocidad, modificar el soporte del peso corporal para favorecer el aprendizaje motor y de esta forma establecer nuevas conexiones con el cerebro. (Acosta, 2021)

Las tasas de mortalidad por ECV, son elevadas en diversas partes del mundo; en muchos casos sobrepasan la mortalidad por patolog3a cardiaca. Entre las regiones que presentan una elevada mortalidad por ECV son Europa del Este, 1frica Central y el Norte de Asia, mientras que las de menor mortalidad son Europa Occidental y Norteam3rica. En segundo lugar, se encuentran pa3ses de Am3rica Latina, Norte de 1frica, Oriente Medio y Sureste Asi1tico. (Pi1a, 2016)

En el a1o 2007, se realiz3 una encuesta sobre prevalencia de ECV en pacientes mayores que habitan en pa3ses de ingresos bajos y medios como: Cuba, Rep3blica Dominicana,

Perú, Venezuela, México y China, dando como resultado tasas que oscilaron entre 65 y 91 por cada 1000 habitantes. (Piña, 2016)

“En países Centroamericanos la tasa de mortalidad por Accidente Cerebrovascular Isquémico para el 2002, se encontraba entre los 1000- 9000 defunciones, siendo los países más afectados según la OMS”. (Catellón, 2016, p.13)

En Guatemala no se cuenta con una incidencia y una prevalencia exacta de enfermedades cerebrovasculares dado a la mala vigilancia y al no reporte de esta enfermedad. Los últimos datos revelados por el departamento de epidemiología evidencian que en el año 2006 se reportaron 256 casos, en el año 2008, 214 y en el año 2012, 262 casos. (Morales, 2015)

La importancia de este trabajo de investigación es dar a conocer los efectos fisiológicos que pueden aportar al paciente con accidente cerebrovascular isquémico la aplicación de neurorehabilitación robótica en miembros inferiores por medio del uso del Lokomat para el inicio de la deambulaci3n. El sistema Lokomat proporciona a los pacientes una forma de repetici3n homogénea y acelerada de los ciclos de la marcha la cual el paciente la realiza lo más semejante a la normalidad. El ejercicio realizado permite la obtenci3n de informaci3n de cómo se realiza el movimiento (Biofeedback), esto facilita el proceso de rehabilitaci3n al estimular la motivaci3n y la participaci3n activa del paciente. (Muñoz, 2016)

Se considera a los adultos mayores vulnerables a esta patología por sus condiciones biológicas y sociales al vivir en circunstancias de riesgo concluyentes por la carencia de recursos económicos, familiares, comunitarios y políticos. (Guerrero, 2015)

El ECV es la segunda causa de muerte en el mundo, generando costos aumentados en su tratamiento y recuperación, de esta manera siendo de gran impacto socioeconómico, ya que es la principal causa de discapacidad a largo plazo en la población. Las personas que presentan factores que aumentan el riesgo de sufrir un ECV son las personas que sufren de hipertensión arterial, diabetes mellitus, fumadores, obesidad, enfermedades cardíacas, alcoholismo, migrañas entre otros. (García, 2019)

Por todo lo anteriormente dicho, esta investigación pretende exponer de manera teórica los Efectos Fisiológicos de la neurorehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os con accidente cerebrovascular isquémico.

Esta investigaci3n es posible debido a que existe suficiente informaci3n acerca del accidente cerebrovascular isquémico. Del mismo modo se encuentra evidencia científi3ca acerca del tratamiento de neurorehabilitaci3n robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat. Finalmente, lo que hace muy viable este trabajo es que se cuenta con asesoría de expertos.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General. Analizar mediante revisi3n bibliográfica los efectos fisiológicos de la neurorehabilitaci3n robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isquémico.

2.3.2 Objetivos Particulares

- Detallar el accidente cerebrovascular isquémico en pacientes en edades comprendidas entre 50 a 60 años, para comprender la afectación que este genera en el sistema musculoesquelético.
- Explicar los efectos fisiológicos de la neurorehabilitación robótica activa en miembros inferiores en el inicio de la deambulaci3n, para comprender a nivel muscular qu3 provoca el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isquémico.
- Identificar los cambios en la locomoci3n de marcha por medio de la aplicaci3n de la neurorehabilitaci3n rob3tica activa en miembros inferiores en el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes con accidente cerebrovascular isquémico

Capítulo III

Marco Metodológico

En este capítulo, se da a conocer el tipo de enfoque de investigación, enlistando los diferentes buscadores que son empleados para reunir la información de la presente investigación bibliográfica sobre la neurorrehabilitación robótica con el uso del Lokomat en pacientes con accidente cerebrovascular. Además, se mencionan los criterios de inclusión y exclusión tomados en cuenta durante la búsqueda bibliográfica para poder alcanzar los objetivos planteados en el Capítulo II.

3.1 Materiales

Para esta investigación se toman en cuenta artículos científicos de las siguientes bases de datos: Ebsco, Medigraphic, PEDro, PubMed, Scielo, Google Académico, Elsevier. Se incluyen Tesis de pregrado y postgrado de diferentes universidades de Latinoamérica y Europa, además del uso de páginas Web de fuentes oficiales. Estas fuentes proporcionan información acerca del accidente cerebrovascular y el uso del Lokomat en dicha patología.

Los recursos bibliográficos por tomar en cuenta en este trabajo incluyen libros sobre anatomía clínica, neuroanatomía, fisiología del cuerpo humano, biomecánica de la marcha, biomecánica del cuerpo humano y semiología clínica del accidente cerebrovascular. (Véase Figura 38)

Buscadores	No. De Artículos
Google Académico	15
PubMed	9
Scielo	3
PEDro	6
Ebsco	1
Elsevier	4
Medigraphic	3

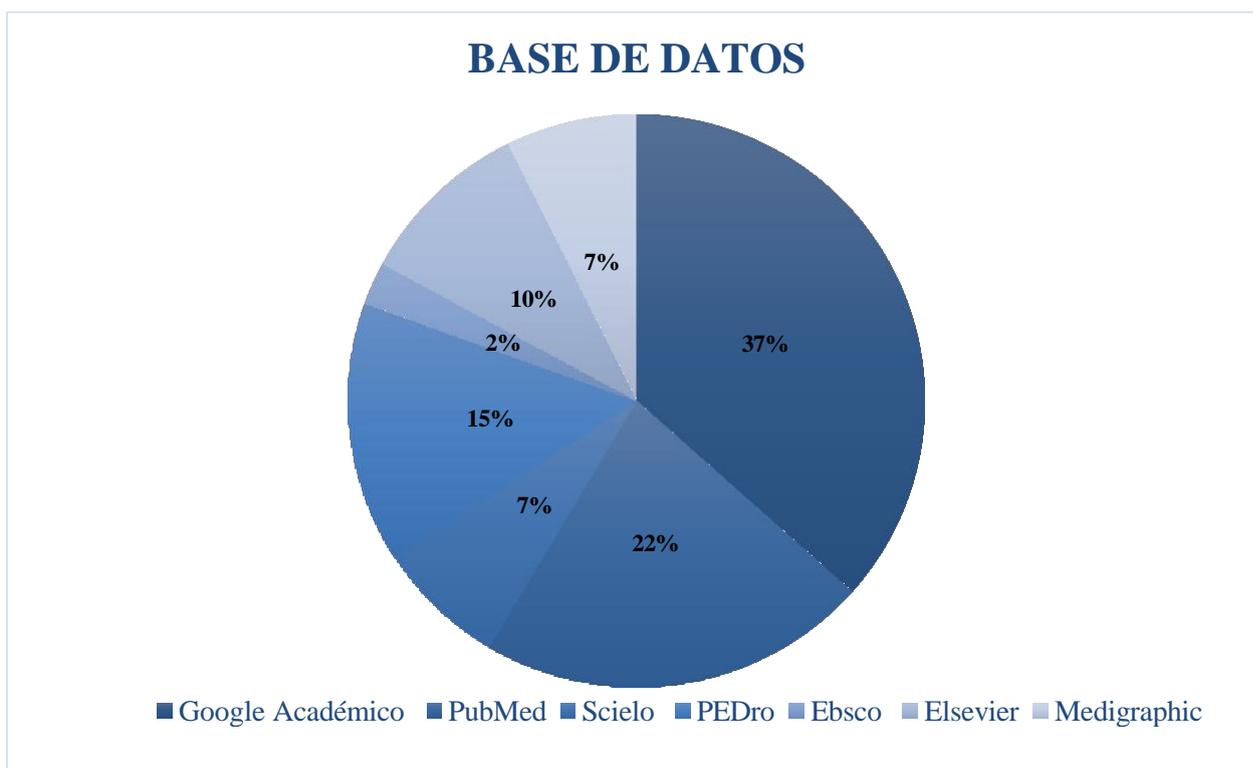


Figura 38. Base de Datos

Fuente: Elaboración propia. Gráfica de pie que muestra las diferentes plataformas de búsqueda para la recolección de información.

La recolección de datos y evidencia científica se realiza a partir de la búsqueda de las siguientes palabras claves: Ictus, accidente cerebrovascular, evento cerebrovascular, neurorrehabilitación robótica, Lokomat, Ischemic Stroke, Skeletal Muscle, Robotic Neurorehabilitation, Human Gait.

3.2 Métodos

3.2.1 Enfoque de investigación. La presente investigación posee un enfoque cualitativo. El enfoque cualitativo posee sustento en la recolección de datos. Este enfoque no toma en cuenta la recolección numérica, en lugar de esta utiliza descripciones y observaciones de las variables. Además, se utiliza para contestar preguntas de investigación. (Gómez, 2006)

Este estudio es cualitativo debido a que las variables que han sido investigadas son de fuentes primarias, con base técnica de recolección datos por medio de palabras claves, para describir las mismas en la investigación. Esto con la finalidad de comprender la relación entre las variables independiente siendo esta la neurorrehabilitación con el uso del Lokomat y la dependiente siendo esta el accidente cerebrovascular.

3.2.2 Tipo de estudio. La presente investigación se considera de tipo descriptiva. Este tipo de investigaciones utilizan criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando de ese modo información sistemática y comparable con la de otras fuentes. (Sabino, 1992)

Esta investigación es de tipo descriptivo dado que se considera como patología al accidente cerebrovascular isquémico describiendo sus componentes neuroanatómicos, su fisiología, fisiopatología, clasificación, factores de riesgo, signos y síntomas, entre otros, en pacientes comprendidos entre los 50 a 60 años. Además, de resaltar la técnica fisioterapéutica, detallando los efectos fisiológicos que genera el uso del Lokomat en la marcha.

3.2.3 Método de estudio. La presente investigación se desarrolla con base en el método teórico analítico, no se consideró otro método de estudio. El análisis de datos consiste en darles una estructura a los datos obtenidos en la investigación. (Hernández, 2014)

Se desarrolla una investigación que tiene como base el método teórico analítico, ya que para llevarla a cabo se recolecta fuentes científicas que hablan de los efectos fisiológicos del Lokomat en pacientes que sufrieron ECV isquémico, con el fin de conocer los beneficios que se obtienen con esta técnica de neurorrehabilitación robótica.

3.2.4 Diseño de investigación. La presente investigación se desarrolla con base al diseño de investigación no experimental y de corte transversal. Una investigación con un diseño de tipo no experimental es la que se realiza sin manipular premeditadamente las variables establecidas en la investigación. Es decir, que únicamente se puede observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. (Hernández, 2014)

La investigación de corte transversal se encarga de la recolección de datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. (Hernández, 2014)

Se realiza un diseño de investigación no experimental que permita recuperar datos ya existentes de las variables establecidas en este trabajo de investigación, sin manipular premeditadamente las mismas. Se considera un diseño de investigación de corte transversal debido a que se tiene una fecha de iniciación y una de culminación, ajustado al calendario académico, además de una revisión bibliográfica.

3.2.5 Criterios de selección. Para realizar esta investigación se tomaron en cuenta ciertos criterios de selección, los cuales se presentan a continuación (Véase Tabla 10):

Tabla 10. Criterio de selección

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none"> ● Artículos indexados y no indexados, provenientes de fuentes bibliográficas con respaldo científico. ● Artículos y libros en inglés, español e italiano. ● Libros que hablen de la anatomía y fisiología del sistema nervioso central. ● Artículos que hablen de la neurorrehabilitación robótica. ● Tesis de pregrado, de maestría y de doctorado que hablen del accidente cerebrovascular. ● Artículos no mayores a 13 años de antigüedad. ● Artículos científicos que hablen de la epidemiología del accidente cerebrovascular. ● Artículos que hablen de los efectos fisiológicos de la neurorrehabilitación robótica 	<ul style="list-style-type: none"> ● Artículos que no contengan fuentes con respaldo científico. ● Artículos y libros en otro idioma diferente al inglés, español e italiano. ● Libros que no aborden temas de anatomía y fisiología del sistema nervioso central. ● Artículos que no hablen de la neurorrehabilitación robótica. ● Tesis de pregrado, de maestría y de doctorado que no hablen del accidente cerebrovascular. ● Artículos mayores a los 13 años de antigüedad. ● Artículos científicos que no hablen de la epidemiología del accidente cerebrovascular. ● Artículos que no hablen de los efectos fisiológicos de la neurorrehabilitación. ● Artículos que no expliquen los beneficios del Lokomat en pacientes

-
- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">● Artículos que expliquen los beneficios del Lokomat en pacientes neurológicos.● Artículos que expliquen de los protocolos del Lokomat. | <ul style="list-style-type: none">● Artículos que no expliquen los protocolos del Lokomat. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
-

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Variables

Según Arias 2012, la variable es una característica o cualidad; magnitud o cantidad. Estas pueden sufrir cambios, son objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación.

3.3.1 Variable independiente. La variable independiente según Muñoz, 2015 es la que representa las condiciones controladas por el investigador, para probar los efectos de los resultados. Esta se emplea en toda la investigación con el fin de entender las consecuencias que posee sobre la variable dependiente. En esta revisión bibliográfica se considera como variable independiente a la técnica de neurorehabilitación robótica Lokomat.

3.3.2 Variable dependiente. Según Muñoz, 2015 la variable dependiente detalla los resultados de una investigación que depende de lo que el investigador transforma o manipula, es decir, indica si el tratamiento o manejo de la variable independiente tuvo algún efecto. En esta revisión bibliográfica se considera como variable dependiente a la patología, en este caso es el accidente cerebrovascular isquémico.

3.3.3 Operacionalización de variables. La operacionalización de variables es convertir una variable teórica a un indicador empírico verificable y medible. Esta se basa en la definición conceptual y operacional de la variable (Véase Tabla 11). (Hernández, 2010)

Tabla 11. Operacionalización de las variables

Tipo	Nombre	Definición Conceptual	Definición Operacional	Fuente
Independiente	Neurorrehabilitación Robótica Lokomat	Es una órtesis robótica de marcha que permite al paciente realizar una marcha de forma bilateral. Utilizando un soporte de peso corporal en cadera y rodilla.	Reeducación de la marcha y lograr neuroplasticidad por medio de feedback que genera el uso del aparato.	(Pico, 2021)
Dependiente	Accidente cerebrovascular isquémico	Es una lesión neurológica aguda que se provoca como consecuencia de una afección en la irrigación del encéfalo.	Pacientes que presenten problemas para realizar una marcha fisiológica.	(Ruiz et al, 2002)

Fuente: Elaboración Propia

Capítulo IV

Resultados

En el último capítulo se revisó información con respaldo científico que sustente y responda a los objetivos planteados en el capítulo II. Se le dio respuesta a cada objetivo propuesto, tomando en cuenta ambas variables, la independiente que es la neurorrehabilitación robótica Lokomat y la dependiente que es el accidente cerebrovascular.

4.1 Resultados

Se realiza una revisión bibliográfica acerca de los efectos fisiológicos de la neurorrehabilitación robótica activa con el uso del Lokomat como tratamiento para el inicio de la marcha en pacientes que sufrieron un accidente cerebrovascular isquémico entre edades comprendidas entre 50 a 60 años mediante una recolección de datos en fuentes científicas.

Primer objetivo. Accidente cerebrovascular isquémico en pacientes en edades comprendidas entre 50 a 60 años, con afectación en el sistema musculoesquelético.

Hunnicut, J., y Gregorio, C. (2017) en su artículo *Skeletal Muscle Changes Following Stroke*, de metodología: Revisión sistemática, los autores tomaron 15 artículos de los cuales se realizó una comparación entre personas con accidente cerebrovascular e individuos sanos. En personas con ECV crónico se incluyeron 375 participantes, [61%] hombres y [39%] mujeres, en edades comprendidas entre los 52 a 72 años. De los casos controles 84 personas eran sanas con un rango de edad media de 56 años. Además, se tomaron en cuenta los siguientes países Brasil, Canadá, España, Suecia, Suiza y Estados Unidos, los cuales fueron utilizados para realizar la búsqueda.

La técnica utilizada para tomar las medidas del tamaño muscular fueron las siguientes herramientas: tomografía computarizada, resonancia magnética, ultrasonografía y escaneos DEXA. Y para medir la fuerza muscular la dinamometría, utilizada en 14 de los 15 estudios incluidos, fue la herramienta principal utilizada para medir la fuerza muscular. El grupo muscular más examinado fue el de los extensores de la rodilla tanto para la dinamometría isométrica como para la isocinética, medidos en 10 de los estudios incluidos.

El objetivo del estudio fue describir los cambios posteriores al accidente cerebrovascular en el tamaño y fuerza del músculo en miembros inferiores, además de realizar una comparación con individuos sanos.

Los resultados demostraron que la extremidad parética sufre reducciones significativas en cuanto al tamaño y la fuerza muscular. Es de suma importancia mencionar que la extremidad no parética también se adapta después del accidente cerebrovascular en comparación con un músculo sano. Los resultados de este estudio respaldan la implementación de intervenciones de ejercicio para revertir las pérdidas de fuerza y tamaño muscular que ocurren en las extremidades paréticas y no paréticas.

Akazawa, N. et al, (2018) en su artículo *Muscle Mass and Intramuscular Fat of The Quadriceps are Related to Muscle Strength in Non-Ambulatory Chronic Stroke Survivors: A Cross-Sectional Study*, de metodología: Experimental de tipo transversal, en el cual participaron 50, siendo 24 [48%] hombres y 26 [52%] mujeres con accidente cerebrovascular crónico no ambulatorios. Se midió la fuerza muscular del cuádriceps utilizando un dinamómetro de mano, imágenes de ultrasonido transversal, estas imágenes de ultrasonido fueron realizadas en modo B. La masa muscular y la grasa intramuscular del cuádriceps se evaluaron en función del grosor muscular y la intensidad del eco, respectivamente. El objetivo del estudio fue mejorar la masa muscular y grasa intramuscular con el fin de aumentar la fuerza de las extremidades paréticas y no paréticas en pacientes con accidente cerebrovascular crónico no ambulatorios, ya que existe una disminución de masa y fuerza muscular.

Los resultados demostraron que la masa muscular y la grasa intramuscular del cuádriceps están relacionadas de forma independiente con la fuerza muscular de las extremidades paréticas y no paréticas en sobrevivientes de accidentes cerebrovasculares crónicos no ambulatorios. Además, tienen una masa muscular disminuida y un aumento de la grasa intramuscular del cuádriceps en comparación con los sobrevivientes ambulatorios.

Lee, S. et al, (2015) en su artículo *Quantifying Changes in Material Properties of Stroke-Impaired Muscle*, en su estudio de metodología: experimental, en dicha investigación participaron 16 personas, siendo 6 hombres y 10 mujeres en edades comprendidas entre 60 a 80 años. Se midió la velocidad de la onda de corte usando elastografía de ultrasonido de onda de corte y la intensidad del eco de las imágenes de

ultrasonido en modo B del músculo en individuos que presentaron un accidente cerebrovascular. Además, se realizaron algunas pruebas físicas por un fisioterapeuta autorizado, tales como, Ashworth modificado y las pruebas de Tardieu modificadas, las cuales se utilizaron para evaluar la espasticidad; y la evaluación Fugl-Meyer para determinar la recuperación motora después de un accidente cerebrovascular, se utilizó como prueba para el deterioro motor, ya que mide la recuperación en pacientes hemipléjicos después de un accidente cerebrovascular.

El objetivo de este estudio fue determinar los cambios en la rigidez y la composición del músculo. Como resultados se obtuvo que la rigidez muscular y la composición muscular, pueden verse alteradas en el músculo afectado por un accidente cerebrovascular. Los hallazgos resaltaron el potencial de la elastografía como herramienta tanto para investigar los mecanismos fundamentales detrás de los cambios en el músculo afectado por un accidente cerebrovascular como para evaluar las propiedades mecánicas del músculo como parte del examen clínico.

Segundo objetivo. Efectos fisiológicos de la neurorehabilitación robótica activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n.

Yang, H. et al (2016) en su artículo *Structural and Functional Improvements Due to Robot-Assisted Gait Training in the Stroke Injured Brain*, de metodologí: de estudio prospectivo abierto. En el cual se incluyeron a 10 pacientes de los cuales 9 eran hombres y 1 mujer, estos sufrieron un accidente cerebrovascular [9 isquémicos, 1 hemorrágico] en edades comprendidas entre los 48 a los 83 años. Los participantes fueron sometidos a 45 minutos de entrenamiento de la marcha con Walkbot, durante 3 días a la semana en 20

sesiones. Los resultados clínicos se evaluaron antes del entrenamiento, después de 10 y 20 sesiones, y en exámenes de seguimiento de 1 mes. Las medidas de resultados clínicos incluyeron evaluación motora Fugl-Meyer de la extremidad inferior, índice de motricidad de las pruebas de extremidades inferiores, y control del tronco. Los datos de la resonancia magnética se adquirieron antes y posterior a 20 sesiones de marcha asistida por robot [RAGT].

El objetivo de este estudio fue identificar cambios en el cerebro lesionado después de RAGT en un grupo de pacientes con accidente cerebrovascular supratentorial. El entrenamiento de la marcha asistido por robot RAGT aceleró la reorganización microestructural de áreas principalmente relacionadas con lo motor, incluida el área motora suplementaria [SMA], ganglios basales y núcleo pedunculopontino [PPN]. La capacidad para caminar y los resultados motores de las extremidades inferiores fueron significativamente mejorado después de RAGT.

El RAGT se correlacionó con la reorganización posterior al accidente cerebrovascular de las áreas cerebrales que regulan 11 funciones motora. Después de RAGT, las desconexiones del hemisferio dañado por accidente cerebrovascular se incrementaron a nivel del sistema de control motor. También se incrementó el área motora en el hemisferio no dañado. Estos cambios se correlacionaron con hallazgos de pruebas clínicas de función motora. Se cree que RAGT puede ayudar a mejorar la salud posterior al accidente cerebrovascular mejorando la habilidad para caminar y acelerando los cambios neuroplásticos necesarios para redistribuir la función motora lejos de áreas afectadas y hacia áreas no afectadas.

Lefeber, N. et al (2018) en su artículo *Physiological Responses and Perceived Exertion During Robot-Assisted and Body Weight–Supported Gait After Stroke*, de metodología transversal experimental con diseño cruzado aleatorio, reclutaron a 14 participantes en un centro de rehabilitación en Bélgica, dichos participantes eran sobrevivientes a un accidente cerebrovascular, de los cuales 12 eran hombres y 2 eran mujeres, en edades comprendidas entre los 48 a 74 años. Los participantes completaron 3 pruebas aleatorias de caminata en una semana utilizando el Lokomat con un 60 % de fuerza de guía, caminar en una cinta rodante y caminar sobre el suelo. Se instaló en los participantes un sistema de análisis de gases portador de tórax y un cinturón de frecuencia cardíaca. El análisis de gases de respiración a respiración y el control de la frecuencia cardíaca se realizaron continuamente desde el comienzo hasta el final de la caminata. Los participantes realizaron descansos de 5 minutos. Al final del descanso y al final de cada minuto durante la caminata, les solicitaron a los participantes que señalaran su calificación de esfuerzo percibido en una escala de Borg de 6 a 20 (6 representó ningún esfuerzo y 20 representó el esfuerzo máximo).

El objetivo de este estudio fue examinar las respuestas fisiológicas durante 30 minutos de caminata asistida por robot y con el peso corporal en una caminadora y sobre el suelo y comparar las intensidades con las pautas de ejercicio. Las pruebas mostraron que el consumo neto de oxígeno, la producción neta de dióxido de carbono, la frecuencia cardíaca neta y la ventilación neta por minuto fueron significativamente menores durante la marcha con Lokomat en comparación con la marcha en cinta rodante y la marcha sobre el suelo.

Schröder, J. et al (2019) en su artículo *Feasibility and Effectiveness of Repetitive Gait Training Early After Stroke*, de metodología: estudio de meta-análisis, en el cual se

incluyeron 15 estudios de una calidad buena a moderada, de estos estudios se extrajeron una cantidad de 915 participantes, de estos 286 pacientes se incluyeron a la marcha asistida por robot [RAGT], en el cual utilizaron el Gait Trainer y el exoesqueleto Lokomat, 152 pacientes se incluyeron a Body-Weight Supported Treadmill Training [BWSTT] y 425 pacientes se asignaron a un grupo de control.

Todos los participantes recibieron entrenamiento de marcha repetitivo o terapia convencional como un complemento a la atención habitual, según el grupo al que fueron asignados. La atención habitual incluía 25-60 min de fisioterapia al día. La rehabilitación neurológica, en el entrenamiento repetitivo conduce a mejoras específicas de la tarea y la reorganización neuroplástica asociada si se proporciona una dosis suficiente de práctica, esto se logra solo si se realizan al menos 1000 pasos durante una sesión de cinta rodante.

El objetivo de este estudio es evaluar la viabilidad del entrenamiento de marcha repetitiva dentro de los primeros 3 meses posteriores al accidente cerebrovascular y los efectos sobre los resultados específicos de la marcha.

En el contexto de la rehabilitación neurológica, por medio del uso de un robot, el entrenamiento repetitivo conduce a mejoras específicas de la tarea y la reorganización neuroplástica asociada, si se proporciona una dosis suficiente de práctica, lo que podría mejorar la recuperación funcional.

Tercer objetivo. Cambios en la locomoción de la marcha con el uso de la neurorehabilitación robótica activa en miembros inferiores en el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes con accidente cerebrovascular isquémico.

Wallard, L. et al (2015) en su artículo *Effects of Robotic Gait Rehabilitation on Biomechanical Parameters in the Chronic Hemiplegic Patient*, de metodología tipo experimental, en el cual se realizó un análisis de la marcha en 10 paciente hemipléjicos lado afecto derecho. Para obtener efectos reales, ningún sujeto recibió intervenciones diarias de fisioterapia y ninguno había sido sometido a tratamiento quirúrgico o había recibido inyecciones de toxina botulínica recientemente en el momento de la evaluación. Se realizó un análisis clínico de la marcha antes y después de una rehabilitación robótica Lokomat Pro programa compuesto por cuatro sesiones intensivas de 30 minutos por semana, durante cinco semanas; caminaron descalzos, sin ayudas para caminar y en ropa interior, a la velocidad que prefirieron, durante un mínimo de diez intentos en una distancia de 10 metros × Pista de marcha.

Los datos fueron recolectados por un sistema de análisis de movimiento con 8 cámaras infrarrojas, frecuencia de muestreo de 200 Hz y 4 plataformas de fuerza, con el fin de proporcionar un análisis clínico de la marcha. El objetivo principal de este estudio fue demostrar cómo el reentrenamiento de la marcha automatizado cambia los parámetros biomecánicos a lo largo de la rehabilitación locomotora en pacientes adultos con hemiplejía crónica a causa de accidente cerebrovascular isquémico.

Se identificaron aumentos estadísticamente significativos en la velocidad de la marcha y la longitud del paso, factores que también se asociaron con una disminución significativa en la cadencia y el ancho del paso en el lado hemipléjico. Además de esto, los pacientes mostraron una mejora estadísticamente significativa en la simetría de la marcha. Se observó una reducción del movimiento lateral del cuerpo durante las transferencias de peso a medida que disminuía la duración del tiempo de apoyo doble y aumentaba el tiempo de apoyo único en el lado hemipléjico, colectivamente, estas modificaciones en los patrones

de marcha de los pacientes produjeron una mejor estabilidad postural y control del equilibrio dinámico.

Este trabajo avaló el uso de órtesis de marcha robótica como Lokomat en la rehabilitación de pacientes con hemiplejía. Estos sistemas robóticos de reentrenamiento de la marcha proporcionan un medio valioso para brindar un reentrenamiento sensoriomotor graduado. Ofreciendo la posibilidad de períodos prolongados de ejercicio, la repetición continua de ciclos de marcha permite una mejor consolidación de patrones locomotores efectivos. La estimulación propioceptiva, cinestésica y vestibular inherente a esta actividad proporciona igualmente un componente integral para la rehabilitación del paciente.

Wonsetler, E., Bowden, M. (2017) en su artículo *A Systematic Review of Mechanisms of Gait Speed Change Post-Stroke. Part 2: Exercise Capacity, Muscle Activation, Kinetics, and Kinematics* de metodología tipo meta-análisis en el cual, realizaron una búsqueda bibliográfica sistemática en las siguientes bases de datos: PubMed, Ovid y CINAHL, incluyeron ensayos de rehabilitación con un cambio estadísticamente significativo en la velocidad de marcha autoseleccionada después de la intervención que recopiló simultáneamente variables mecánicas.

Los términos de búsqueda en PubMed, Ovid y CINAHL, incluyeron los siguientes encabezados de temas médicos: "Accidente cerebrovascular", "Accidente cerebrovascular isquémico", "Infarto cerebral", "Hemorragia subaracnoidea", "Hemorragias intracraneales", "Aneurisma intracraneal" y "Marcha" o "Caminar". La búsqueda inicial arrojó 3530 artículos. Después de eliminar los duplicados y revisar los títulos, resúmenes y listas de referencias de los registros, se recuperaron 232 artículos de texto completo. Doscientos siete artículos no cumplieron con los criterios de inclusión, por lo que se incluyeron 25 estudios para la síntesis cualitativa.

El objetivo principal de esta revisión sistemática fue examinar los cambios en los resultados de la marcha mecánica y describir la recuperación motora cuantificada por los cambios en las variables mecánicas basadas en laboratorio en los ensayos de rehabilitación.

Dos de los estudios incluyeron intervenciones robóticas, específicamente, el uso de la órtesis de marcha Lokomat. Dentro de uno de esos estudios, fue en realidad el grupo de control, que recibió entrenamiento locomotor asistido por un terapeuta, el que demostró un cambio significativo en la velocidad de marcha autoseleccionada.

Manuli, A. et al (2021) en su artículo *Is Intensive Gait Training Feasible and Effective at Old Age? A Retrospective Case-Control Study on the Use of Lokomat Free-D in Patients with Chronic Stroke* de metodología de tipo retrospectivo de casos y controles, en el cual se incluyeron ochenta pacientes ancianos con accidente cerebrovascular isquémico crónico. Realizaron un análisis mediante un sistema electrónico de recuperación de datos.

Los pacientes apuntados se dividieron en dos grupos: el grupo experimental [GE] se sometió a un entrenamiento de rehabilitación con Lokomat FreeD, equipado con una pantalla VR, mientras que el grupo de control [GC] realizó un entrenamiento de rehabilitación tradicional. Los dos grupos coincidieron por edad, sexo, educación, lesión cerebral, intervalo entre accidentes cerebrovasculares. El protocolo de rehabilitación incluyó un total de 40 sesiones de entrenamiento.

El grupo experimental [GE] realizó el entrenamiento de rehabilitación con el Lokomat Free-D, equipado con una pantalla VR, mientras que el grupo control [GC] recibió el entrenamiento de rehabilitación tradicional. El protocolo de rehabilitación incluyó un total de 40 sesiones de entrenamiento, es decir, cinco veces por semana durante 8 semanas, según los protocolos estándares y de investigación clínica, con una duración aproximada

de una hora para cada grupo. Todos los pacientes fueron sometidos a visita clínica y evaluación neuropsicológica al inicio y al final del programa de rehabilitación.

El objetivo principal de este estudio retrospectivo fue evaluar los efectos de la rehabilitación robótica en pacientes de edad avanzada, así como su percepción de usabilidad y adaptación a la neurorehabilitación robótica intensiva.

Los dos tipos de rehabilitación llevaron a una mejora a nivel de discapacidad percibido, por la escala Funcional Independencia Medida [FIM] y en el rendimiento en marcha y equilibrio por la escala de Tinetti [TT], destacando una mejora significativa sobre todo en el grupo experimental. Sin embargo, solo en el grupo experimental, el entrenamiento con Lokomat había inducido un aumento de la distancia recorrida en 10 minutos valorado con el test de marcha de 10 m y una mejora significativa del estado de ánimo. Además, se evidenció que el Lokomat-FreeD fue bien tolerado por pacientes con altos niveles de usabilidad.

4.2 Discusión

En su artículo Hunnicutt, J., y Gregorio, C. (2017) presentan que el tamaño y la fuerza de los músculos de las extremidades inferiores en personas posterior a un accidente cerebrovascular sufren reducciones sustanciales en comparación a los músculos de personas con la misma edad. Además, mencionan que ambas extremidades presentan déficits en el tamaño y la fuerza de los músculos, presentan un promedio de 60 meses después del accidente cerebrovascular.

Por lo contrario, Akazawa, N. et al, (2018) menciona que esta reducción de la fuerza muscular se debe a que se presenta un aumento de la grasa intramuscular específicamente

en el cuádriceps haciéndose más evidente y crónico en los pacientes que no son ambulatorios. La disminución de la masa muscular y el aumento de la grasa intramuscular en las personas sobrevivientes de un accidente cerebrovascular se asocian no solo con una disminución de la fuerza muscular sino también con una disminución de la capacidad al ejercicio aeróbico y con un aumento de la resistencia a la insulina.

En una investigación realizada a más profundidad, Lee, S. et al, (2015) presentan los cambios que sufren en sus propiedades el material muscular a consecuencia a una lesión neurológica, algunos de estos cambios son: la rigidez del músculo espástico a causa de mecanismos de reflejos musculares, lo cual puede conducir a una contractura, que se manifiesta como una reducción en el rango de movimiento de la articulación, la pérdida de rango de movimiento contribuye al deterioro de la función motora de las extremidades.

Por lo contrario, Hunnicutt, J., y Gregorio, C. (2017) en su artículo da a conocer que la debilidad y la atrofia que presenta el músculo de una persona posterior al accidente cerebrovascular es tanto por el desuso como por la disminución del impulso descendente a través de vías ipsolaterales y contralaterales. Además, se reconoce que la debilidad hemiparética se atribuye en gran medida a una activación central o cortical alterada.

En cuanto a las técnicas de evaluación de la marcha, la investigación de Wallard, L. et al, (2015) utilizan métodos de evaluación los cuales consisten en un software de adquisición, el cual reconstruye un modelo biomecánico, que permite comparar las diferentes fases del ciclo de la marcha. Además, dicho software recalcula los centros articulares de cada segmento para identificar amplitudes y movimientos. Estos datos se comparan antes y después del uso del dispositivo robótico.

Por el contrario, Manuli, A. et al, (2021) utiliza para su investigación una evaluación clínica llevada a cabo por profesionales de la salud [neurólogo, fisiatra, enfermero,

fisioterapeuta, psicólogo]. Las escalas utilizadas fueron las siguientes: escala de usabilidad del sistema [SUS], escala del logro de metas [GAS], prueba de Tinetti, escala de Independencia, prueba de caminata de 10 minutos [10 MW], entre otras. Ambas se compararon al principio y al final de la utilización del dispositivo Lokomat.

En cuanto a la aplicación de la técnica, Wallard, L. et al, (2015) en su investigación realiza un programa con el uso del Lokomat el cual consiste en un programa compuesto por cuatro sesiones intensivas de 30 minutos en el dispositivo robótico, con una duración de cinco semanas, posterior a esta se observan cambios significativos en los pacientes, en cuanto a mejora de marcha.

Por el contrario, en el estudio de Lefeber, N. et al, (2018) los pacientes completan 3 pruebas aleatorias de caminata en 1 semana [lunes, miércoles y viernes, entre las 3 y las 5 pm], caminando en el Lokomat con un 60% de fuerza de guía durante 30 minutos. En esta prueba se observan cambios fisiológicos significativos, sin embargo, no se observan cambios de marcha en el tiempo que se utiliza dicho dispositivo.

4.3 Conclusiones

Respondiendo a la pregunta planteada acerca de los efectos fisiológicos de la neurorehabilitación activa en miembros inferiores para el inicio de la deambulaci3n con el uso de Lokomat en pacientes de edades comprendidas entre 50 a 60 a1os posterior a evento cerebrovascular isqu3mico se obtienen las siguientes conclusiones:

En personas que sufrieron un accidente cerebrovascular isqu3mico, se observan cambios significativos en el sistema musculoesquel3tico. Estos se evidencian en ambos hemicuerpos, siendo el m3s afectado el lado par3tico. Los m3sculos sufren cambios tanto

en su tamaño como en la fuerza muscular. Se adiciona a estos, el cambio de composición muscular y rigidez, esto a causa de la inmovilización y a la no deambulación que presentan los pacientes.

Todos estos cambios en el sistema de locomoción son consecuencia del evento cerebrovascular. Ya que cuando ocurre un ECV, son dañadas varias células cerebrales, encargadas de enviar señales nerviosas al sistema musculoesquelético, es por ello que este sistema sufre cambios, los cuales son evidentes en la marcha del paciente haciéndola complicada y generando dependencia. En cuanto a la marcha la velocidad es disminuida o lenta, la longitud del paso es más corta y en el patrón de marcha se visualiza la realización de semicírculos en la extremidad inferior parética, además de presentar una fase de balanceo alterada.

Una de las técnicas innovadoras para el inicio de la deambulación es la neurorrehabilitación robótica, los principales efectos fisiológicos encontrados con la utilización de estas máquinas, son las diferentes conexiones neuronales creando neuroplasticidad. Ya que se evidencia una reorganización en áreas cerebrales que regulan el control motor. Además, se presentan cambios en los signos vitales, como un aumento de la frecuencia cardíaca y aumento del consumo de oxígeno, siendo menores estas cifras a una marcha convencional, lo que ayuda a que el usuario de esta técnica, la pueda utilizar más tiempo, creando así neuroplasticidad por acción de repetición.

Uno de los beneficios de la neurorrehabilitación robótica por medio del uso de Lokomat, es la mejora significativa de la marcha. En esta se observa un aumento de la velocidad y de la longitud de paso, proporcionando al paciente con secuelas de ECV un mayor grado de independencia posterior al uso del Lokomat. Además, gracias a las

cualidades del dispositivo robótico, se puede aumentar el número de metros caminados por el paciente, mejorando así su condición y facilitando su proceso de rehabilitación.

4.4 Perspectiva y/o aplicaciones prácticas

Incentivar a que se efectúen futuras investigaciones experimentales para ampliar el conocimiento acerca de los efectos fisiológicos de la neurorrehabilitación robótica con el uso del Lokomat. Además, de crear tratamientos basados en la evidencia los cuales puntualicen los efectos fisiológicos, efectos terapéuticos y en la calidad de vida que puede proveer el dispositivo Lokomat, en diferentes grupos poblacionales, ampliando el mismo a diferentes edades, sexo u otras patologías.

Realizar diferentes estudios comparativos entre el uso Lokomat con diferentes técnicas de rehabilitación convencional, con la finalidad de llegar a un consenso y determinar cuál es la técnica que más beneficiará al paciente con afectaciones a causa de un evento cerebrovascular y plantear programas los cuales permitan una combinación de técnicas incluyendo al Lokomat.

Los deseos del autor son desarrollar una investigación mediante técnicas experimentales para lograr que esta forme parte de protocolos para diferentes enfermedades neurológicas tales como, Lesión medular, Esclerosis múltiple, Síndrome de desacondicionamiento físico, Parkinson, entre otros que posean relevancia para futuros investigadores.

Referencias

- Acevedo, J., Caicedo, E., Castillo, J. (2017). Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en niños con lesión del miembro superior. *Revista de la Universidad Industrial de Santander*, 49 (1), 105 – 114. Recuperado de <https://tinyurl.com/2kyuyp9s>
- Acosta, N., Chiodi, A., Díaz, A., y Cruz, A. (2021). Seguimiento de pacientes en rehabilitación robótica. In *XXIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2021, Chilecito, La Rioja)*, 633 -635 Recuperado de <https://tinyurl.com/35drx38t>
- Agudo, O., Aleix, C., Álvarez, J., Cacho, A., Egocheaga, I., y García, J. (2009). *Guía de práctica clínica para el manejo de pacientes con ictus en atención primaria*. Recuperado de <https://tinyurl.com/yckjcmk7>
- Akazawa, N., Harada, K., Okawa, N., Tamura, K., y Moriyama, H. (2018). Muscle mass and intramuscular fat of the quadriceps are related to muscle strength in non-ambulatory chronic stroke survivors: A cross-sectional study. *PLoS One*, 13(8). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201789>
- Alarco, J., Morales, J., Ortiz, P. Solar, S., Álvarez, E. (2009). Estudio descriptivo de la enfermedad cerebrovascular en el hospital regional docente del Ica- Perú 2003 – 2006. *CIMEL Ciencia e Investigación Médica Estudiantil Latinoamericana*, 14(2), 80-86. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=71720562002>
- Alrashi, M., Pacheco, S. (2019). El accidente cerebrovascular y su tratamiento fisioterapéutico. *Ciencia y Conciencia*, 2 (1) 33- 36. Recuperado de <http://revcienciaconciencia.sld.cu/index.php/ciencia-conciencia/article/view/23>
- Altable, M. (2020). *Accidente cerebrovascular [ictus]*. Madrid: El Faro Ceuta. Recuperado de <https://elfarodeceuta.es/accidente-cerebrovascular-ictus/>
- Andino, F. (2021). *Beneficios del sistema Lokomat en pacientes con lesiones neurológicas que asistieron al hospital básico de Duran en el período 2017 – 2019*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado de <https://tinyurl.com/hjs2dhjc>
- Bermejo, F., Porta, J., Díaz, J., Martínez, P. (2008). *Más de cien escalas en neurología*. Recuperado de <https://tinyurl.com/4bfuekm>

- Bernabé, A., y Carrillo, R. (2021). Tasa de incidencia del accidente cerebrovascular en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 38(3), 400. Recuperado de <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2021.383.7804>
- Buffone, G., Parenti, S. (2015, 28 de septiembre). Bases anatómico-funcionales para el aprendizaje motor. *Memoria académica UNLP – FaHCE*. Recuperado de https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.7289/ev.7289.pdf
- Cámara, J. (2011). Análisis de la marcha: sus fases y variables espacio- temporales. *Entramado*, 7 (1), 160 -173. Recuperado de <https://tinyurl.com/2p84dudu>
- Castellón, A., Cerda, J. y López, A. (2016). *Secuelas por Accidente Cerebrovascular Isquémico en pacientes de 40-90 años, del servicio de Medicina Interna, Hospital Roberto Calderón Gutiérrez, de enero 2011 a diciembre 2014* (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional de Nicaragua. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/4505/1/96777.pdf>
- Cerda, L. (2010). Evaluación del paciente con trastorno de la marcha. *Hospital Clínica Univ Chile*, 21 (1), 326 -336- Recuperado de <https://tinyurl.com/2p9xr8hx>
- Cerón, A., y Goldstein, G. (2021). Mortalidad por accidente cerebrovascular en Guatemala: patrones e inequidades. *Revista análisis de la realidad nacional, universidad de San Carlos de Guatemala*, 10(203), 66- 88. Recuperado de <http://ipn.usac.edu.gt/wp-content/uploads/2021/05/IPN-RD-203.pdf>
- Choreño, J., Carnalla, M., y Guadarrama, P. (2019). Enfermedad vascular cerebral isquémica: revisión extensa de la bibliografía para el médico de primer contacto. *Medicina Interna de México*. 35(1), 61. Recuperado de: <https://www.medigraphic.com/pdfs/medintmex/mim-2019/mim191h.pdf>
- Crossman, A., Neary, D. (2015). *Neuroanatomía texto y atlas en color*. Barcelona, España: Elsevier.
- De León, L. (2019). *Estudio comparativo de los beneficios de la hidrocinesiterapia vs Lokomat en el equilibrio para la reeducación de la marcha en pacientes con parálisis cerebral hemipléjica espástica de 7 a 9 años mediante revisión bibliográfica*. (Tesis de pregrado). Universidad Galileo, Guatemala. Recuperado de <https://tinyurl.com/mr43sue>
- Espinosa, Y., Almeida, D., Grimon, L., Suarez, A., y Escalona, P. (2019). Variables tomográficas pronosticas de muerte en el ictus isquémico. *Multimed*, 23(1), 104-119. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/mmed/v23n1/1028-4818-mmed-23-01-104.pdf>
- Fernández, R., López, N., Martín, S., Zubillaga, E. (2015). Valoración pronostica con escalas NIHSS, Glasgow y canadiense del accidente cerebrovascular isquémico. Hospital María Auxiliadora. *Nuberos Científica*, 1 (7), 1 -30. Recuperado de <http://www.enfermeriacantabria.com/enfermeriacantabria/web/articulos/7/49>
- Flores, A. (2018). *El habilitador Gery Colombo*. Washington: Hocoma. Recuperado de <https://www.hocoma.com/media-releases/enabler-gery-colombo/>
- Fustinoni, O. (2021). *Guía práctica en el manejo agudo del accidente cerebrovascular*. Recuperado de <https://tinyurl.com/y35652fj>

- Gamero, M., Moriche, F., Ramírez, A., Sánchez, C., Pino, P. (2020). *Manual para pacientes con ictus*. Recuperado de <https://tinyurl.com/2p9e8myp>
- García, C., Martínez, A., García, V., Ricaurte, A., Torres, I., y Coral, J. (2019). Actualización en diagnóstico y tratamiento del ataque cerebrovascular isquémico agudo. *Universitas Médica*, 60 (3), 41 -57. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/unmed/v60n3/0041-9095-unmed-60-03-00041.pdf>
- García, C., Martínez, A., García, V., Ricaurte, A., Torres, I., y Coral, J. (2019). Actualización en diagnóstico y tratamiento del ataque cerebrovascular isquémico agudo. *Universitas Médica*, 60 (3), 1 -17. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/unmed/v60n3/0041-9095-unmed-60-03-00041.pdf>
- García, C., Martínez, A., Valentina, G., Ricaurte, A., Torres, I., Coral, J. (2019). Actualización en diagnóstico y tratamiento del ataque cerebrovascular isquémico agudo. *Universitas Médica*, 60 (3), 1-2. Recuperado de <https://tinyurl.com/2p9d5x82>
- Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Recuperado de <https://bit.ly/3qhH82B>
- González, R., Landínez, D. (2016). Epidemiología, etiología y clasificación de la enfermedad vascular cerebral. *Archivos de medicina*, 16 (2), 495-507. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2738/273849945026.pdf>
- González, S. (2015). *Reeducación de la marcha en pacientes post ictus mediante Lokomat y tapiz rodante*. (Tesis de pregrado). Universidad de Coruña, Coruña. Recuperado de <https://tinyurl.com/2p9yeufe>
- Grigioni, L., Palmegiani, M., Schafir, A. (2017). *Movimiento en una dimensión física III*. Recuperado de <https://acortar.link/j5APc6>
- Guerrero, N. Yépez-Ch, M. (2015). Factores asociados a la vulnerabilidad del adulto mayor con alteraciones de salud. *Universidad y Salud*, 17(1), 121-131. Recuperado de <https://tinyurl.com/76c3xaj4>
- Guiria, M. (2010). Causas determinantes del accidente cerebrovascular. (Tesis de pregrado). Universidad FASTA, Buenos Aires. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/49224539.pdf>
- Gutiérrez, L., Yai, L., Chang, F., Carranza, Z. (2020). Evento cerebrovascular isquémico agudo. *Revista Médica Sinergia*, 5 (5), 476. Recuperado de <https://tinyurl.com/yeyvpw5s>
- Guyton, A., y Hall, J. (2016). *Compendio de fisiología médica*. Barcelona, España: Elsevier.
- Hernández, H., Villalón, L., Smith, S. (2017). Rehabilitación del ictus. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*, 7 (1), 1 -12. <http://revrehabilitacion.sld.cu/index.php/reh/article/view/152>
- Hernández, S. (2014). *Metodología de la investigación*. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

- Hunnicut, J., y Gregory, C. (2017). Skeletal muscle changes following stroke: a systematic review and comparison to healthy individuals. *Topics in stroke rehabilitation*, 24(6), 463-471. DOI: <https://doi.org/10.1080/10749357.2017.1292720>
- Koeppen, B., Stanton, B. (2009). *Berne y Levy Fisiología*. Barcelona, España: Elsevier
- Lalle, D. (2003). *Biomecánica y lesiones de la articulación del hombro en jugadores de tenis* (Tesis de pregrado). Universidad Abierta Interamericana, Buenos Aires. Recuperado de: <http://imgbiblio.vaneduc.edu.ar/fulltext/files/TC049102.pdf>
- Lee, S., Spear, S., y Rymer, W. (2015). Quantifying changes in material properties of stroke-impaired muscle. *Clinical biomechanics*, 30(3), 269-275. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.01.004> 0268-0033
- Lefeber, N., De Keersmaecker, E., Henderix, S., Michielsen, M., Kerckhofs, E., y Swinnen, E. (2018). Physiological responses and perceived exertion during robot-assisted and body weight-supported gait after stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 32(12), 1043-1054. DOI: <https://doi.org/10.1177/1545968318810810>
- León, D. (2020). *Análisis del equilibrio dinámico y su relación con el riesgo de lesión, en deportistas de alto rendimiento de tenis del club lumbisi por medio del star excursión balance test (sebt)* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Recuperado de <https://acortar.link/yZUN3g>
- Magaña, P. (2016). Introducción a la rehabilitación robótica para el tratamiento de la enfermedad vascular cerebral: revisión. *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*, 27(2), 44-48. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=63627>
- Manuli, A., Maggio, M., Stagnitti, M., Aliberti, R., Cannavò, A., Casella, C., Milardi, D., Bruschetta, A., Naro, A., y Calabrò, R. (2021). Is intensive gait training feasible and effective at old age? A retrospective case-control study on the use of Lokomat Free-D in patients with chronic stroke. *Journal of Clinical Neuroscience*, 92, 159-164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2021.08.013>
- Marco, C. (2011, junio 10). Cinesiología de la marcha humana normal. Slideshare, Recuperado de <https://es.slideshare.net/maxifox/marcha-humana>
- Martínez, U. (2021). *Caracterización de los pacientes post evento cerebrovascular según independencia funcional alcanzada atendidos en el hospital de rehabilitación Aldo Chavarría, Nicaragua, 2016 – 2017* (Tesis de maestría). Centro de investigaciones y estudio de la salud escuela de salud pública, Nicaragua. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/15934/1/t1160.pdf>
- Moore, K., Dalley, A., y Agur, A. (2018). *Anatomía con orientación clínica*. Barcelona, España. Wolters Kluwer.
- Morales, J. (2015). *Correlación entre la leucocitosis y la escala modificada de Rankin en pacientes con evento cerebrovascular isquémico* (Tesis de Postgrado) Universidad

de San Carlos de Guatemala. Recuperado de:
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/05/05_9646.pdf

- Moreno, E., Rodríguez, J., y Bayona, H. (2019). Trombólisis endovenosa como tratamiento del ACV isquémico agudo en Colombia. *Acta Neurol Colombia*, 35(1), 157. Recuperado de <https://doi.org/10.22379/24224022262>
- Moreno, G. (2016). *Accidente cerebrovascular isquémico y sus complicaciones en pacientes mayores de 60 años en el periodo 2014 -2015 en el hospital de especialidades Abel Gilbert Pontón*. (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado de <https://tinyurl.com/mseenuyk>
- Muñoz, A. (2016). *Lokomat en la rehabilitación de la marcha en personas hemipléjicas post accidente cerebrovascular* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ciencias de la Salud, Ecuador. Recuperado de <https://tinyurl.com/yc2ps2fd>
- Muñoz, C. (2015). *Metodología de la investigación*. Recuperado de <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2019/08/56-Metodologia-de-la-investigacion-Carlos-I.-Munoz-Rocha.pdf>
- Muñoz, P. (2016). *Lokomat en la reeducación de la marcha en personas hemipléjicas post accidente cerebrovascular*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Recuperado de <https://tinyurl.com/cdm3x2xj>
- Neumann, D. (2007). *Fundamentos de Rehabilitación*. Milwaukee, Wisconsin: Paidotribo
- Nordin, M., y Frankel, V. (2004). *Biomecánica básica del sistema musculoesquelético*. Nueva York, Estados Unidos: McGraw- Hill Interamericana.
- Osorio, H., Hernando, M. (2013). Bases para el entendimiento del proceso de la marcha humana. *Archivos de Medicina*, 13 (1), 88 -96. Recuperado de 10.30554/archmed.13.1.23.2013
- Ospina, N., Pérez, C., Vargas, J., Cervantes, A., Rodríguez, M. (2017). Ganglios Basales y Conducta. *Revista mexicana de neurociencia*, 18(6), 74-86. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmexneu/rmn-2017/rmn176g.pdf>
- Pabón, C. (2021). Actualización en la prevalencia y carga de la enfermedad cerebrovascular en Costa Rica en el periodo comprendido entre 2009 – 2019. *Revista médica de Costa Rica y Centroamérica*, 86 (630), 6- 15. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmedcoscen/rmc-2020/rmc20630c.pdf>
- Paredes, J., Campos, M., Campuzano, B., y Pineda, Y. (2019). Factores de riesgo en pacientes mayores de 25 años con evento cerebrovascular isquémico. *RECIMUNDO*, 3(1), 1424-1426. Recuperado de <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/423/493>
- Pérez, M. (2015). *Valoración pronóstica con escalas NIHSS, Glasgow y canadiense del accidente cerebrovascular isquémico hospital María Auxiliadora 2014*. (Tesis de pregrado). Universidad San Martín de Porres, Lima. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12727/1347>

- Perry, J., Burnfield, J. (2015). *Análisis de la marcha función normal y patológica*. Barcelona, España: Base.
- Peterson, F., Kendall, E., Geise, P., McIntyre, M., Romani, W. (2007). Kendall's músculos pruebas funcionales, postura y dolor. Madrid, España: Marbán Libros, S:L.
- Pico, C. *Investigación bibliográfica sobre el entrenamiento de la marcha en lesiones medulares incompletas a través del sistema robótico tipo Lokomat* (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/25488/1/FCDAPD-DCTF-PICO%20CARLOS.pdf>
- Pigretti, S., Alet, M., Mamani, C., Alonzo, C., Aguilar, M., Álvarez, H.,... Zurrú, M. Consenso sobre accidente cerebrovascular isquémico agudo. *Medicina Buenos Aires*, 79 (2) 1-46. Recuperado de <https://tinyurl.com/mrykb5e5>
- Piña, R., Martínez, D. (2016). Epidemiología, etiología y clasificación de la enfermedad vascular cerebral. *Archivos de medicina (Manizales)*, 16(2), 495-507. Recuperado de <https://tinyurl.com/2p8hyxpb>
- Purves, D., Augustine, G., Fitzpatrick, D., Hall, W., Lamantia, A., y Mcnamara, J. (2007). *Neurociencia*. Madrid, España: Médica Panamericana, S.A.
- Ramos, M. (2010). *Relación del apoyo plantar en la alineación de los segmentos corporales detectando mediante la plantigrafía en niños de 10 a 12 años de la escuela San Antonio de Padua de la ciudad de Quito "plan de educación"* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/4022>
- Restrepo, C., Ramos, L. (2017). Aplicación de la escala NIHSS. Artes y Letras SAS. Recuperado de <https://tinyurl.com/yckjbvuy>
- Rodríguez, C. (2018). *Alteraciones en la marcha post ACV* (Tesis de pregrado). Universidad Fasta, Guayaquil. Recuperado de <http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/handle/123456789/1664>
- Rodríguez, C. (2018). *Alteraciones en la Marcha Post ACV* (Tesis de Grado). Universidad Fasta Facultad de Ciencias Médicas, Argentina. Recuperado de <http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/handle/123456789/1664>
- Romero, L. (2015). *Anatomía y fisiología del sistema nervioso*. Recuperado de <https://acortar.link/w76sfq>
- Rouvière H., y Delmas A. (2005). *Anatomía Humana. Descriptiva, Topográfica y Funcional*. Barcelona, España: Masson S.A.
- Ruiz, N. González, P. Suarez, C. (2002). Abordaje del accidente cerebrovascular. *Ministerio de Sanidad de España*, (26), 93. Recuperado de https://www.sanidad.gob.es/biblioPublic/publicaciones/docs/200204_1.pdf
- Ruiz, N., González, P., Suárez, C. (2002). Abordaje del accidente cerebrovascular. *Sistema Nacional de Salud España* 26 (4), 93 – 106. Recuperado de https://www.sanidad.gob.es/biblioPublic/publicaciones/docs/200204_1.pdf

- Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*. Recuperado de http://paginas.ufm.edu/sabino/ingles/book/proceso_investigacion.pdf
- Salas, N., Lam, I. E., Sornoza, K. y Cifuentes, K. (2019). Evento Cerebrovascular Isquémico vs Hemorrágico. *RECIMUNDO*, 3(4), 178. Recuperado de [https://doi.org/10.26820/recimundo/3.\(4\).diciembre.2019.177-193](https://doi.org/10.26820/recimundo/3.(4).diciembre.2019.177-193)
- Sanz, P. (2006). *Introducción a la robótica inteligente*. Recuperado de <http://www3.uji.es/~sanpz/robot/RobInt-Apuntes.pdf>
- Schröder, J., Truijen, S., Van Criekinge, T., y Saeys, W. (2019). Feasibility and effectiveness of repetitive gait training early after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Journal of rehabilitation medicine Basingstoke*, 51(2), 78-88. DOI: 10.2340/16501977-2505
- Sepúlveda, P., Bacco, J., Cubillos, A., Doussoulin, A. (2018). Espasticidad como signo positivo de daño motoneurona superior y su importancia en rehabilitación. *CES medicina*, 32 (3), 260- 266. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cesm/v32n3/0120-8705-cesm-32-03-259.pdf>
- Soria, R. (2014). *Desarrollo de la capacidad motriz por medio del tratamiento fisioterapéutico en pacientes adultos con ACV*. (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado de <https://tinyurl.com/mryx3fr8>
- Surós, A., y Surós J. (2001). *Semiología médica y técnica exploratoria*. Barcelona, España: Elsevier Masson.
- Tirapu, J., Luna, P., Iglesias, D., Hernaez, P. (2011). Contribución del cerebelo a los procesos cognitivos: avances actuales. *Rev. Neurol*, 53 (5), 301 – 315. Recuperado de <https://acortar.link/FNmPXs>
- Tortora, G., y Derrickson, B. (2011). *Principios de anatomía y fisiología*. Madrid, España: Médica Panamericana, S.A.
- Triglia, A. (2021). *Partes del cerebro humano y [funciones]*. Barcelona: Psicología y Mente. Recuperado de <https://psicologiaymente.com/neurociencias/partes-cerebro-humano>
- Ullón, D. (2021). *Beneficios del sistema Lokomat en pacientes con lesiones neurológicas que asistieron al hospital básico de Duran en el período 2017-2019* (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de Santiago de Yucatán, Ecuador. Recuperado de <https://tinyurl.com/43fbr34n>
- Vegazo, P. (2017). *Tratamiento de la marcha como secuela tras un accidente cerebrovascular* (Tesis de pregrado). Universidad Complutense Madrid, España. Recuperado de <https://tinyurl.com/nh88fa6h>
- Villa, A., Gutiérrez, E., Pérez, J. (2008). Consideraciones para el análisis de la marcha humana técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. *Revista de ingeniería biomédica*, 2 (3), 16- 25. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rinbi/v2n3/v2n3a04.pdf>
- Viseux, F. (2020, 1 de abril). Postura, equilibrio e control postural. *Saúde em Pé*. Recuperado de <https://urlty.co/jPf>

- Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y., y Bredin, J. (2015). Effects of robotic gait rehabilitation on biomechanical parameters in the chronic hemiplegic patients. *Clinical Neurophysiology*, 45(3), 215-219. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucli.2015.03.002>
- Wonsetler, E. C., y Bowden, M. G. (2017). A systematic review of mechanisms of gait speed change post-stroke. Part 2: exercise capacity, muscle activation, kinetics, and kinematics. *Topics in stroke rehabilitation*, 24(5), 394-403. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10749357.2017.1282413>
- Yang, H., Kyeong, S., Lee, S., Lee, W., Ha, S., Kim, S., Kang, H., Lee, W., Kang, C. y Kim, D. (2017). Structural and functional improvements due to robot-assisted gait training in the stroke-injured brain. *Neuroscience letters*, 637, 114-119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.11.039>

Anexos

Anexo 1. Escalas de Evaluación utilizadas en pacientes con ECV.

Tabla 12. Escala de NIHSS. (Restrepo, 2017)

ESCALA NIHSS			
1 A. Nivel de conciencia		6 A. Motor pierna izquierda	
0	Alerta	0	No claudica
1	Somnoliento	1	Claudica
2	Estuporoso	2	Algún esfuerzo contra gravedad
3	Coma	3	Sin esfuerzo contra gravedad
		4	Ningún movimiento
1 B. Preguntas		6 B. Motor pierna derecha	
0	Responde ambas correctamente	0	No claudica
1	Responde una correctamente	1	Claudica
2	Ambas incorrectas	2	Algún esfuerzo contra gravedad
		3	Sin esfuerzo contra gravedad
		4	Ningún movimiento
1 C. Órdenes		7. Ataxia de miembros	
0	Realiza ambas correctamente	0	Ausente
1	Realiza una correctamente	1	Presente en una extremidad
2	Ambas incorrectas	2	Presente en dos extremidades
2. Mirada		8. Sensibilidad	
0	Normal	0	Normal
1	Parálisis parcial de la mirada	1	Hipoestesia ligera a moderada
2	Desviación oculocefálica	2	Hipoestesia severa o anestesia

3. Campos visuales		9. Lenguaje	
0	Sin déficit campimétrico	0	Normal, sin afasia
1	Cuadrantanopsia	1	Afasia leve a moderada
2	Hemianopsia homónima	2	Afasia severa, Wernicke, Broca
3	Hemianopsia homónima bilateral, ceguera	3	Afasia global o mutismo
4. Parálisis facial		10. Disartria	
0	Movimientos normales y simétricos	0	Articulación normal
1	Paresia ligera	1	Ligera a moderada
2	Parálisis parcial	2	Severa o anartria
3	Parálisis completa		
5 A. Motor brazo izquierdo		11. Extinción	
0	No claudica	0	Sin anormalidad
1	Claudica	1	Parcial (solo una modalidad afectada)
2	Algún esfuerzo contra gravedad	2	Completa (más de una modalidad)
3	Sin esfuerzo contra gravedad		
4	Ningún movimiento		
5 B. Motor brazo derecho		PUNTUACIÓN	
0	No claudica	· 25 puntos indica discapacidad neurológica muy grave	
1	Claudica	· 15 - 25 puntos indica discapacidad muy grave	
2	Algún esfuerzo contra gravedad	· 5 - 14 puntos indica discapacidad neurológica moderada	
3	Sin esfuerzo contra gravedad	· < 5 puntos indica discapacidad leve	
4	Ningún movimiento		

Anexo 2. Escalas de Evaluación utilizadas en pacientes con ECV.

Tabla 13. Escala Neurológica Canadiense (CNS). (Benito, 2012)

ESCALA NEUROLÓGICA CANADIENSE (CNS)	
ESTADO MENTAL	
Alerta	3
Obnubilado	1.5
Orientación	
Orientado	1
Desorientado o no aplicable	0
Lenguaje	
Normal	1

Déficit de expresión	0.5
Déficit de comprensión	0
FUNCIONES MOTORAS. SIN DEFECTO DE COMPRESIÓN	
Cara	
Ninguna	0.5
Presente	0
Brazo proximal	
Ninguna	1.5
Leve	1
Significativa	0.5
Total, o masiva	0
Brazo distal	
Ninguna	1.5
Leve	1
Significativa	0.5
Total, o masiva	0
Pierna	
Ninguna	1.5
Leve	1
Significativa	0.5
Total, o masiva	0
RESPUESTA MOTORA. SIN DEFECTO DE COMPRESIÓN	
Cara	
Simétrica	0.5
Asimétrica	0
Brazos	
Igual	1.5
Desigual	0
Piernas	
Igual	1.5
Desigual	0
Puntuación total	

Anexo 3. Escalas de Evaluación utilizadas en pacientes con ECV.

Tabla 14. Escala de Glasgow. (Benito, 2012)

ESCALA DE GLASGOW	
Respuesta Verbal	
Paciente orientado que conversa	5
Desorientado que conversa	4
Palabras inteligentes, pero sujeto que no conversa	3
Sonidos ininteligibles, quejidos	2

No habla incluso con aplicación de estímulos dolorosos	1
Respuesta Apertura palpebral	
Abertura palpebral espontánea	4
El sujeto abre los ojos sólo con estímulos verbales	3
La víctima abre los ojos sólo con estímulos dolorosos	2
No hay apertura palpebral	1
Respuesta Motora	
Cumple órdenes	6
Respuesta a un estímulo doloroso	
Localiza e intenta retirar la zona corporal del estímulo	5
Retira la zona corporal del estímulo	4
Postura de flexión	3
Postura de extensión	2
Ningún movimiento de las extremidades	1

Anexo 4. Escalas de Evaluación utilizadas en pacientes con ECV.

Tabla 15. Índice de Barthel. (Benito, 2012)

ÍNDICE DE BARTHEL		
Actividad	Categoría	Puntuación
1. Alimentación	Independiente	10
	Necesita ayuda	5
	Totalmente dependiente	0
2. Baño	Independiente	5
	Necesita ayuda	0
3. Aseo personal	Independiente	5
	Necesita ayuda	0
4. Vestirse	Independiente	10
	Necesita ayuda	5
	Totalmente dependiente	0
5. Control anal	Sin problemas	10
	Algún accidente	5
	Accidentes fuertes	0
6. Control vesical	Sin problemas	10
	Algún accidente	5
	Accidentes fuertes	0

7. Manejo en el inodoro	Independiente	10
	Necesita ayuda	5
	Totalmente dependiente	0
8. Desplazamiento silla/cama	Independiente	10
	Necesita ayuda	5
	Totalmente dependiente	0
9. Desplazamientos	Independiente	15
	Necesita ayuda	10
	Independiente en silla de ruedas	5
	Incapaz de desplazarse	0
10. Subir escaleras	Independiente	10
	Necesita ayuda	5
	Incapaz de subirlas	0
Puntuación Total:		

Resultado	Grado de Dependencia
< 20	Totalmente dependiente
20 – 35	Grave
40 – 55	Moderado
>60	Leve
100	Independiente

Anexo 5. Escalas de Evaluación utilizadas en pacientes con ECV.

Tabla 16. Escala de Rankin Modificada. (Bermejo, 2008)

Grado	Clínica
0	Ausencia de síntomas
1	Síntomas leves que no interfieren con las actividades habituales del paciente.
2	Incapacidad leve. Síntomas que no imponen alguna restricción en las actividades del paciente, pero no impiden que sea capaz de cuidarse por sí mismo.
3	Incapacidad moderada. Síntomas que restringen de forma significativa las actividades habituales del paciente y le impiden una existencia completamente independiente.
4	Incapacidad moderada-severa. Imposibilidad para una existencia independiente, pero no requiere atención constante.
5	Incapacidad severa. Requiere atención constante noche y día.
6	Muerte

