

Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

INSTITUTO PROFESIONAL
EN TERAPIAS Y HUMANIDADES
LICENCIATURA EN FISIOTERAPIA



Instituto Profesional en Terapias y Humanidades

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: EFECTOS FISIOLÓGICOS DEL EJERCICIO AERÓBICO DE BAJA INTENSIDAD PARA PERMITIR UN DESARROLLO ADECUADO EN PACIENTES PEDIÁTRICOS CON TRATAMIENTO DE CÁNCER EN CURSO



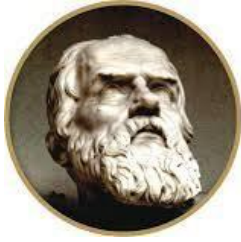
Que Presenta

Andrea Isabel Orozco Chacón

Ponente

Ciudad de Guatemala, Guatemala.

2024.



Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

INSTITUTO PROFESIONAL
EN TERAPIAS Y HUMANIDADES
LICENCIATURA EN FISIOTERAPIA



Instituto Profesional en Terapias y Humanidades

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: EFECTOS FISIOLÓGICOS DEL EJERCICIO AERÓBICO DE BAJA INTENSIDAD PARA PERMITIR UN DESARROLLO ADECUADO EN PACIENTES PEDIÁTRICOS CON TRATAMIENTO DE CÁNCER EN CURSO



Tesis profesional para obtener el Título de
Licenciado en Fisioterapia

Que Presenta

Andrea Isabel Orozco Chacón

Ponente

Mtro. José Raymundo Ramírez Cano

Director de Tesis

Mtra. María Isabel Díaz Sabán

Asesor Metodológico

Ciudad de Guatemala, Guatemala. 2024

INVESTIGADORES RESPONSABLES

Ponente

Andrea Isabel Orozco Chacón

Director de Tesis

Mtro. José Raymundo Ramírez Cano

Asesor Metodológico

Mtra. María Isabel Díaz Sabán



Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

Guatemala, 12 de marzo 2024

Estimada alumna:
Andrea Isabel Orozco Chacón

Presente.

Respetable:

La comisión designada para evaluar el proyecto **“Revisión bibliográfica: efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad para permitir un desarrollo adecuado en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso”** correspondiente al Examen General Privado de la Carrera de Licenciatura en Fisioterapia realizado por usted, ha dictaminado dar por APROBADO el mismo.

Aprovecho la oportunidad para felicitarla y desearle éxito en el desempeño de su profesión.

Atentamente,

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

Lic. Emanuel Alexander
Vásquez Monzón
Secretario

Lic. Diego Estuardo
Jiménez Rosales
Presidente

Lic. Marbella Aracelis
Reyes Valero
Examinador



Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

Guatemala, 26 de noviembre 2021

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: efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad para permitir un desarrollo adecuado en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso"** de la alumna **Andrea Isabel Orozco Chacón**

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

Atentamente

Lic. Marbella Aracelis Reyes Valero
Asesor de tesis
IPETH – Guatemala



Galileo
UNIVERSIDAD
La Revolución en la Educación

Guatemala, 29 de noviembre 2021

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 la alumna **Andrea Isabel Orozco Chacón** de la Licenciatura en Fisioterapia, culminó su informe final de tesis titulado: **"Revisión bibliográfica: efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad para permitir un desarrollo adecuado en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso"** 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 Vasquez Monzón
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: Mtro. José Raymundo Ramírez Cano
Nombre del Estudiante: Andrea Isabel Orozco Chacón
Nombre de la Tesina/sis: Revisión bibliográfica: Efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad para permitir un desarrollo adecuado en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso
Fecha de realización: Otoño 2022

Instrucciones: Verifique que se encuentren los componentes señalados 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 retroalimentación del alumno.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA APROBACIÓN 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 título es claro, preciso y evidencia claramente la problemática referida	X		
3.	La identificación del problema de investigación plasma la importancia de la investigación.	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 investigación.	X		
6.	Los objetivos tanto generales como específicos han sido expuestos en forma correcta, en base al proceso de investigación 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



Mtro. José Raymundo Ramírez Cano
Nombre y Firma Del Director de Tesina

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

INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN: LISTA DE COTEJO TESINA
ASESOR METODOLÓGICO

Nombre del Asesor: Mtra. María Isabel Díaz Sabán
Nombre del Estudiante: Andrea Isabel Orozco Chacón
Nombre de la Tesina/sis: Revisión bibliográfica: Efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad para permitir un desarrollo adecuado en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso
Fecha de realización: Otoño 2022

Instrucciones: Verifique que se encuentren los componentes señalados 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 retroalimentación del alumno.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA APROBACIÓN DE LA TESINA

No.	Aspecto a evaluar	Registro de cumplimiento		Observaciones
		Si	No	
1	Formato de Página			
a.	Hoja tamaño carta.	X		
b.	Margen superior, inferior y derecho a 2.5 cm.	X		
c.	Margen izquierdo a 3.0 cm.	X		
d.	Orientación vertical excepto gráficos.	X		
e.	Paginación correcta.	X		
f.	Números romanos en minúsculas.	X		
g.	Página de cada capítulo sin paginación.	X		
h.	Todos los títulos se encuentran escritos de forma correcta.	X		
i.	Times New Roman (Tamaño 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.	Sangría de 5 cm. Al iniciar cada párrafo.	X		
o.	Interlineado a 2.0	X		
p.	Resumen sin sangrías.	X		
2.	Formato Redacción	Si	No	Observaciones
a.	Sin faltas ortográficas.	X		
b.	Sin uso de pronombres y adjetivos personales.	X		
c.	Extensión de oraciones y párrafos variado y medurado.	X		
d.	Continuidad en los párrafos.	X		
e.	Párrafos con estructura correcta.	X		
f.	Sin uso de gerundios (ando, iendo)	X		

g.	Correcta escritura numérica	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 e párrafo u oración y entrecomillas	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



Mtra. María Isabel Díaz Sabán

DICTAMEN DE TESINA

Siendo el día 29 del mes de noviembre del año 2021.

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

Los C.C

Director de Tesina
Función

Mtro. José Raymundo Ramírez Cano

Asesor Metodológico
Función

Mtra. María Isabel Díaz Sabán

Coordinador de Titulación
Función

Lic. Diego Estuardo Jiménez Rosales

Autorizan la tesina con el nombre de:

Revisión bibliográfica: Efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad para permitir un desarrollo adecuado en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso

Realizada por el estudiante:

Andrea Isabel Orozco Chacón

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

 **IPETH®**
Titulación Campus Guatemala
Firma y Sello de Coordinación de Titulación

Dedicatoria

A mi amado esposo, quien fue de mucho apoyo y motivación durante todo este proceso y quien me hizo ver que en cada dificultad había una oportunidad para aprender y crecer personalmente. A mis papás, quienes sé que están orgullosos con el cierre de esta etapa de mi vida, que van a disfrutar de este logro como si fuera de ellos mismos y quienes hicieron todo lo posible porque yo pudiera estudiar esta carrera. Gracias por ser inspiración para mí y acompañarme en esta alegría.

Andrea Isabel Orozco Chacón

Agradecimientos

A Dios por haberme permitido llegar tan lejos, por ayudarme a seguir adelante para cumplir este sueño y por nunca permitir que me faltara nada durante el proceso. A mi esposo, por hacerme reír y ayudarme a distraerme en los momentos de máximo estrés y frustración, por creer en mí y apoyarme a seguir adelante. A cada uno de los licenciados involucrados en el proceso, que me guiaron y me enseñaron a hacerlo de forma correcta, sin ellos esto no sería posible, agradezco su tiempo y sus consejos.

Andrea Isabel Orozco Chacón

Palabras Clave

Cáncer infantil

Ejercicio aeróbico

VO₂máx

Fisioterapia oncológica

Quimioterapia

Tabla de Contenido

Portadilla.....	i
Investigadores responsables.....	ii
Carta de aprobación de examen privado.....	iii
Carta de aprobación del asesor.....	iv
Carta de aprobación del revisor lingüístico.....	v
Lista de cotejo.....	vi
Dictamen de tesis.....	x
Dedicatoria.....	xi
Agradecimientos.....	xii
Palabras clave.....	xiii
Resumen.....	1
Capítulo I.....	2
Marco Teórico.....	2
1.1 Antecedentes Generales.....	2
1.1.1 Fundamentos de fisiología del ejercicio.....	2
1.1.1.1 Definición.....	3
1.1.1.2 Sistemas energéticos en el ejercicio.....	3
1.1.1.3 Función muscular.....	7
1.1.2 Cáncer infantil.....	15
1.1.2.1 Definición.....	16
1.1.2.2 Tipos.....	16
1.1.2.3 Etiología.....	19
1.1.2.4 Fisiopatología.....	20
1.1.2.5 Epidemiología.....	21
1.1.2.6 Diagnóstico.....	23
1.1.2.7 Tratamiento médico.....	25
1.1.2.8 Tratamiento fisioterapéutico.....	28
1.2 Antecedentes Específicos.....	30
1.2.1 Ejercicio aeróbico.....	30

1.2.1.1 Definición.....	31
1.2.1.2 Factores determinantes.....	31
1.2.1.3 Pruebas funcionales de valoración aeróbica.....	34
1.2.1.4 Adaptaciones al entrenamiento aeróbico.....	37
1.2.1.5 Indicaciones, precauciones y contraindicaciones.....	45
Capítulo II.....	47
Planteamiento del Problema.....	47
2.1 Planteamiento del Problema.....	47
2.2 Justificación.....	49
2.3 Objetivos.....	51
2.3.1 Objetivo general.....	51
2.3.2 Objetivos específicos.....	51
Capítulo III.....	53
Marco Metodológico.....	53
3.1 Materiales.....	53
3.2 Métodos.....	54
3.2.1 Enfoque de la investigación.....	54
3.2.2 Tipo de estudio.....	55
3.2.3 Método de estudio.....	55
3.2.4 Diseño de investigación.....	56
3.2.5 Criterios de selección.....	56
3.3 Operacionalización de variables.....	57
3.3.1 Variables.....	57
3.3.1.1 Variable.....	57
3.3.1.2 Variable independiente.....	58
3.3.1.3 Variable dependiente.....	58
Capítulo IV.....	60
Resultados.....	60
4.1 Resultados.....	60
4.2 Discusión.....	70
4.3 Conclusión.....	74

4.4 Perspectivas.....	75
Referencias	

Índice de Figuras

Figura 1. Vía de Embden-Meyerhof.....	5
Figura 2. Cadena de transporte de electrones.	7
Figura 3. Estructura básica del músculo esquelético.....	8
Figura 4. Estructura del sarcómero.....	9
Figura 5. Ciclo de contracción muscular.....	11
Figura 6. Tipos de contracción muscular.....	15
Figura 7. Tumor de Wilms en riñón derecho.....	17
Figura 8. Formación de osteosarcoma en fémur.....	18
Figura 9. Aplicación de quimioterapia intravenosa.....	25
Figura 10. Cámara de aplicación de radioterapia infantil.....	27
Figura 11. Aplicación de TENS para alivio del dolor.....	30
Figura 12. Válvulas de retorno venoso en músculos.....	39
Figura 13. Músculos respiratorios principales: Intercostales y diafragma.....	40
Figura 14. Resumen del proceso de remodelación ósea.....	42
Figura 15. Representación gráfica de la anemia.....	43
Figura 16. Mecanismo de función endocrina en el ejercicio.....	44
Figura 17. Bases de datos utilizadas.....	54

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparación de los tipos de fibras musculares.....	13
Tabla 2. Escala de Borg simplificada.....	36
Tabla 3. Fuentes utilizadas.....	54
Tabla 4. Criterios de selección.....	57
Tabla 5. Operacionalización de variables.....	58

Resumen

El cáncer es un crecimiento anormal, en número y tamaño, de las células; el cáncer infantil tiene una etiología variada relacionada a factores de comportamiento y ambientales; es común en niños con edades de 4 a 10 años y éstos pacientes sufren las consecuencias causadas por la enfermedad y por los tratamientos convencionales como quimioterapia y radioterapia. Entre los síntomas más comunes destacan el dolor y la astenia, lo cual causa dificultades para realizar actividades de la vida diaria así como déficit de motivación en los pacientes. El ejercicio aeróbico de baja intensidad es aquel que le exige al cuerpo un 50% a 70% de su capacidad y utiliza oxígeno para brindar energía a las células.

En el presente trabajo de investigación se planteó como objetivo principal mostrar mediante una revisión bibliográfica los efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad para permitir un desarrollo adecuado en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso. La metodología empleada en este trabajo tuvo un enfoque de investigación cualitativo, tipo de estudio descriptivo, método de estudio teórico analítico y un diseño de investigación no experimental con corte transversal.

La mayoría de los resultados obtenidos en esta investigación señalan que el ejercicio aeróbico de baja intensidad aplicado como tratamiento de acompañamiento paralelo a quimioterapia o radioterapia por un período de 12 a 16 semanas mejora la resistencia física y promueve un mejor estado de ánimo, lo cual permite que el paciente se desarrolle de la mejor forma posible a pesar de la enfermedad. Estos efectos en conjunto permiten que la calidad de vida del paciente y su acoplamiento a la enfermedad, síntomas y situaciones a enfrentar durante el tratamiento sea mejor.

Capítulo I

Marco teórico

El ejercicio aeróbico permite el desarrollo de las capacidades funcionales óptimas, además de la ganancia de facultades físicas asociadas al movimiento. En pacientes pediátricos con cáncer es común observar la pérdida de dichas facultades, así como la agravación de esta pérdida debido a la naturaleza invasiva del tratamiento recibido. La práctica del ejercicio aeróbico con correcta dosificación puede causar efectos positivos en esta etapa de la enfermedad con lo cual se puede mejorar la calidad de vida del paciente.

1.1 Antecedentes Generales

1.1.1 Fundamentos de fisiología del ejercicio. Desde la antigüedad, la fisiología del ejercicio ha sido estudiada; desde el conocimiento empírico hasta el conocimiento científico actual. Su desarrollo como ciencia fue impulsado por tres causas principales. Primero, la necesidad militar de aumentar la condición física de los ejércitos. Segundo, el paso del deporte de la élite antigua a todo el pueblo, lo cual despertó la necesidad de adquirir conocimiento en el tema y mejorar el rendimiento de los deportistas. Por último, el avance científico en la fisiología regulatoria e integrativa que dio a conocer el beneficio del ejercicio sobre mecanismos homeostáticos del cuerpo, (López, et al., 2006, citando a Rowell, et al., 1996).

1.1.1.1 Definición. La fisiología del ejercicio es la ciencia que estudia la forma en que se relacionan los diferentes aparatos y sistemas, desde el nivel molecular y celular hasta el nivel integral de la persona y los mecanismos de regulación funcional que hacen posible la realización del ejercicio físico, así como los cambios estructurales y funcionales que se producen tras el entrenamiento continuo, (López, et al., 2006).

Estudio del funcionamiento integral de los sistemas, sus cambios fisiológicos y las adecuaciones que éstos realizan durante la realización del ejercicio y los efectos permanentes que éste causa en el organismo a corto, mediano y largo plazo, (Adamopoulos, et al., 2019).

1.1.1.2 Sistemas energéticos en el ejercicio. El cuerpo humano tiene la capacidad de producir energía con el uso de los medios que se encuentren disponibles en el momento necesario, existen dos métodos mayores de producción de energía, cada uno de ellos utilizan distintos sustratos energéticos para lograr su objetivo: anaeróbico y aeróbico; este concepto también es denominado bioenergética, (Madeira, 2018).

1.1.1.2.1 Método anaeróbico. Se produce energía útil sin la presencia de oxígeno. Intervienen dos mecanismos: metabolismo de fosfágenos y glucólisis anaeróbica.

- **Metabolismo de fosfágenos.** El ATP [Adenosín Trifosfato] y la fosfocreatina se encuentran en este grupo. Estos producen la energía necesaria al inicio del ejercicio y durante ejercicios explosivos que requieren grandes cantidades de energía en períodos cortos de tiempo, (López, et al., 2006). El ATP tiene gran importancia ya que es un mediador universal del metabolismo y señalización en especies unicelulares y pluricelulares. En cuanto a su producción energética, la hidrólisis del ATP brinda una fuerza termodinámica que impulsa la química celular y participa en la mayoría de los

procesos biológicos que requieren energía, no relacionados con la producción de la misma, (Rajendran, et al., 2016).

La fosfocreatina es un fosfágeno utilizado en la síntesis de ATP, la enzima Creatin Kinasa [CK] cataliza la liberación de un grupo fosfato de la fosfocreatina para unirlo a una molécula de Adenosín Difosfato [ADP] y convertirlo así en ATP. Al final de este proceso la fosfocreatina queda transformada únicamente en creatina, (Aujla, 2021).

- *Glucólisis anaeróbica.* Proceso citoplasmático utilizado al existir mayor necesidad energética no satisfecha mediante la glucólisis aeróbica. El piruvato no logra ingresar a la mitocondria para ser procesado debido a la alta demanda energética, este se acumula en el citosol a manera de lactato, (López, et al., 2006). El lactato no puede ser sintetizado a piruvato en el citosol por lo que es transportado hacia el hígado para iniciar el ciclo de Cori donde el lactato es sintetizado a dos piruvatos que, unidos, forman una molécula de glucosa que puede ser utilizada nuevamente, tras ser enviada a la sangre, o almacenada como glucógeno en el hígado o músculos, (Brooks, 2020). La glucosa ingresa al citosol celular y es sintetizada por la Vía de Embden Meyerhof donde es transformada a glucosa-6 fosfato por la enzima hexocinasa, con gasto de un ATP. La glucosa-6-fosfato isomerasa transforma la glucosa-6-fosfato a fructosa-6-fosfato, a ésta la enzima fosfofructocinasa le entrega un grupo fosfato en el carbono 1 y se transforma en fructosa-1,6-bifosfato con gasto de 1 ATP; ésta es transformada, mediante la enzima aldolasa, en dos moléculas: dihidroxiacetona-3fosfato y gliceraldehído-3-fosfato, únicamente éste último puede continuar el proceso por lo que la dihidroxiacetona-3-fosfato se transforma en gliceraldehído-3-fosfato por la enzima triosa fosfato isomerasa, (López, et. al., 2006).

A partir de esta fase el proceso se realiza doble, una vez por cada molécula de gliceraldehído-3-fosfato. Éste mediante la enzima gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa es transformado en 1,3-bisfosfoglicerato; al cual la enzima fosfoglicerato cinasa lo transforma a 3-fosfoglicerato, le quita un grupo fosfato y lo une a un ADP lo que resulta en el primer ATP del proceso. La enzima fosfoglicerato mutasa cambia de posición el fosfato del 3-fosfoglicerato del carbón 3 al carbón 2 y lo transforma a 2-fosfoglicerato, luego a fosfoenolpiruvato por la enzima Enolasa y éste, por último, a piruvato + ATP por la desfosforilación del fosfato mediante la enzima piruvato cinasa. En este proceso se producen 4 moléculas de ATP y se consumen 2 en el proceso así que el resultado neto es de 2 moléculas ATP, (López, et al., 2006).

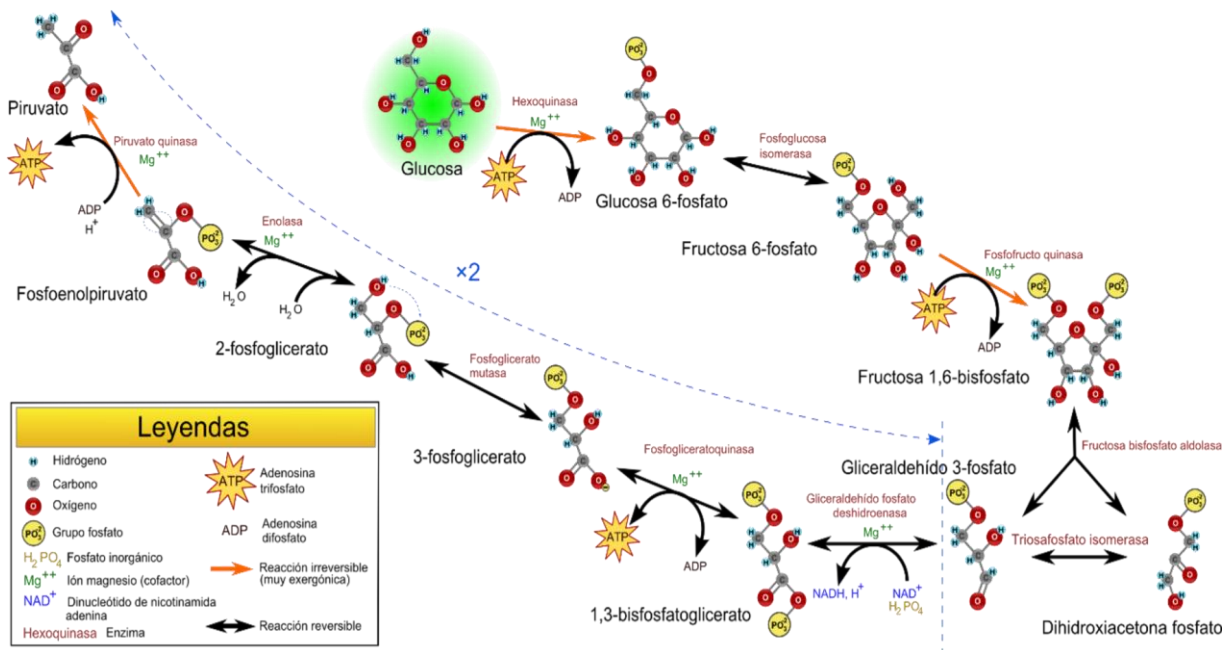


Figura 1. Transformación del piruvato por la vía de Embden-Meyerhof. (Costas, 2018).

1.1.1.2.2 Método aeróbico. “Metabolismo de producción de energía mediante el uso de oxígeno activado por la actividad física que produce un aumento del ritmo cardíaco y volumen

respiratorio para satisfacer la necesidad del músculo activado” (Wang, et al., 2017 p.1). En éste método, la energía puede ser obtenida a través de hidratos de carbono, los cuales son sintetizados por el organismo en forma de glucosa; ácidos grasos, los cuales no forman la principal fuente de producción energética pero participan en procesos de metabolismo celular; y aminoácidos como la alanina, glicina, serina y cisteína, (López, et al., 2006).

- *Glucólisis aeróbica.* Mecanismo de producción energética que consta de fase citoplasmática y fase mitocondrial, está a la vez consta de Ciclo de Krebs, cadena de electrones y fosforilación oxidativa lo cual resulta en producción de ATP. Se activa cuando la demanda energética es por períodos de tiempo prolongados, (Brooks, 2020). La fase citoplasmática permite que de la glucosa que ingresa a la célula, en conjunto con magnesio, se obtengan dos moléculas de agua y dos piruvatos. Éstos son transportados a la membrana externa de la célula donde se transforman en Acetil Co Enzima A [Acetil CoA], que ingresa al citosol mitocondrial para ser utilizado en el ciclo de Krebs, (Madeira, 2018).

Durante el ciclo de Krebs, el Acetil CoA se une al compuesto mitocondrial oxalacetato, el cual permite la degradación completa del acetil donde se extraen los iones de hidrógeno para producir tres Nicotinamida Adenina Dinucleótido [NAD], dos Flavín Adenín Dinucleótido [FAD], un Guanosín Trifosfato [GTP] y un Dióxido de Carbono [CO₂] por cada piruvato que compone el Acetil CoA, es decir, el ciclo de Krebs se alimenta dos veces por ciclo, una vez por cada piruvato, (López, et al., 2006). El proceso de transporte en cadena de electrones, como se observa en la Figura 1, consiste en que el hidrógeno es transportado mediante NAD hacia las enzimas NADH deshidrogenasa, Coenzima Q, Citocromo bc1, Citocromo C y Citocromo Oxidasa

donde libera un total de 8 electrones de hidrógeno y mediante FAD hacia las enzimas Succinato Deshidrogenasa, Coenzima Q, Citocromo bc1, Citocromo C y Citocromo Oxidasa donde libera un total de 6 electrones de hidrógeno, como se muestra en la Figura 2, (Zhao, et al., 2019).

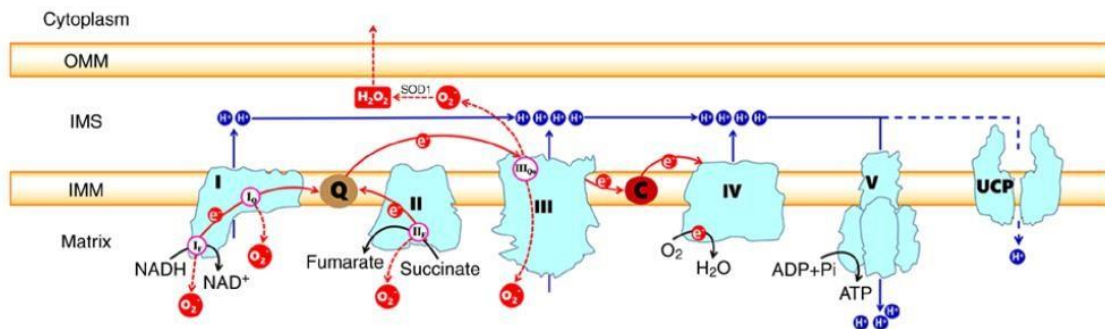


Figura 2. Generación de electrones y protones en la cadena de transporte de electrones, último paso de la glucólisis aeróbica. (Zhao, et al., 2019).

Los electrones de hidrógeno liberados en la cadena de electrones son transportados, mediante el gradiente de concentración, a través de la enzima ATP Sintasa donde, por cada cuatro electrones se produce un ATP. A este proceso se le denomina

Fosforilación oxidativa; el hidrógeno transportado de vuelta al citosol mitocondrial se une con oxígeno para producir agua, (Nolfi-Donagan, et al., 2020).

1.1.1.3 Función muscular. El ejercicio es realizado por la acción del músculo esquelético, el cual es activado de forma voluntaria, se encuentra altamente vascularizado e innervado y se encuentra adherido a huesos y otros músculos mediante tendones. Además, es componente importante en el metabolismo regulatorio, producción de energía, homeostasis celular y termogénesis corporal, (Mukund, et al., 2020).

1.1.1.3.1 Estructura del músculo esquelético. El epimisio es una capa de tejido conectivo que recubre a todo el músculo. El músculo está compuesto por varias agrupaciones de fibras musculares llamadas fascículos, las cuales están cubiertas por perimisio. Cada fibra muscular, recubierta por endomisio, tejido conectivo laxo, está compuesta de varias miofibrillas. Cada miofibrilla está compuesta por sarcómeros que son la unidad estructural básica del músculo estriado, (Nordin, et al., 2004).

Como se ilustra en la Figura 3, cada fibra muscular puede contener hasta varios miles de miofibrillas. Cada miofibrilla, cubierta por sarcolema, contiene aproximadamente 1500 filamentos gruesos de miosina y 3000 filamentos delgados de actina las cuales son grandes moléculas proteicas polimerizadas que, en conjunto, son las responsables de la contracción muscular, (Hall, et al., 2016).

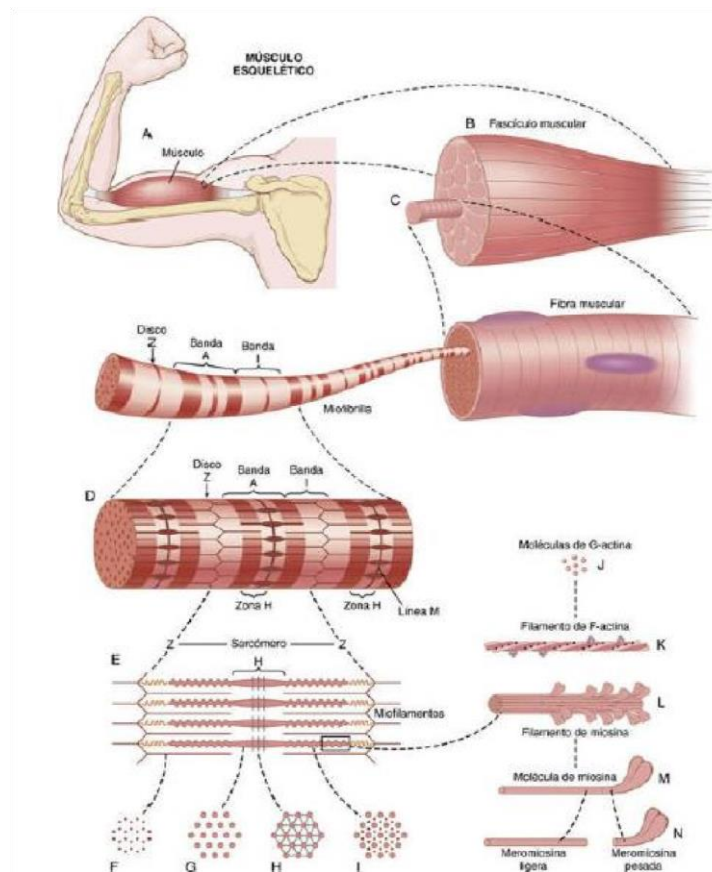


Figura 3. Estructura básica del músculo esquelético. (Hall, et al., 2016).

Los filamentos de miosina están compuestos por moléculas en forma de bastoncillos con tallos largos y cabezas prominentes. Los filamentos de actina tienen forma de doble hélice espiralizados uno alrededor del otro. La tropomiosina, una cadena larga de polipéptidos encontrada en los surcos de la actina, y la troponina, una molécula globular unida por intervalos regulares a la tropomiosina, son proteínas encargadas de regular el enlace actina – miosina, (Nordin, et al., 2004).

El sarcómero, como se muestra en la Figura 4, está organizado en áreas compuestas por proteínas estructurales y contráctiles. La línea Z está compuesta por actinina, encargada de fijar la actina de forma paralela a la miosina y de delimitar el sarcómero. La nebulina es una proteína unida a las líneas Z y permite el anclaje de la actina a la línea Z. La titina es una proteína estructural extendida desde la línea Z hasta la línea M, compuesta por miomesina, ambas encargadas de la integridad estructural del sarcómero. La proteína C se encarga de fijar los filamentos de miosina a la línea M, (Rassier, 2017).

La banda I comprende el espacio donde solamente se encuentra actina sin sobreponerse con la miosina; la banda H, comprende el espacio donde solamente se encuentra miosina; la banda A comprende el espacio donde se sobreponen la actina y la miosina, (Rassier, 2017).

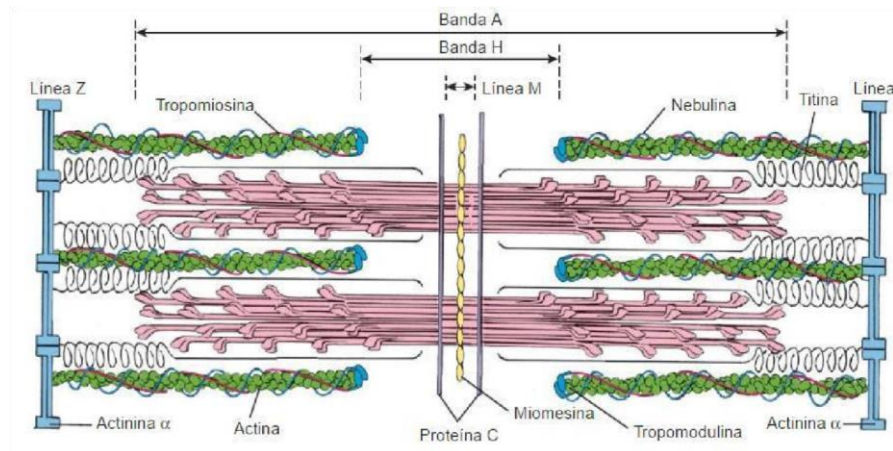


Figura 4. Estructura del sarcómero. (Cuevas, 2017).

1.1.1.3.2 Ciclo de contracción muscular. La membrana neuronal se encuentra en reposo a 90 microvoltios gracias a la acción regulatoria de la bomba de sodio y potasio que permite el equilibrio de iones dentro y fuera de la neurona. Se abren los canales de sodio y éste ingresa a la membrana. La membrana neuronal se despolariza y alcanza un valor de +40 microvoltios con lo cual se desencadena el potencial de acción. El potencial de acción viaja por la fibra motora hacia la placa motora donde entra en contacto con el músculo, (Raghavan, et al. 2019).

Se libera acetilcolina en la placa motora, la cual actúa en la membrana de la fibra muscular y abre canales de cationes activados por acetilcolina. Cuando estos canales se abren se permite el paso de iones de sodio hacia dentro de la fibra muscular y provoca una despolarización local que conlleva a un potencial de acción de membrana. El potencial de acción viaja por la membrana de la fibra muscular y hacia el retículo sarcoplásmico por medio de los túbulos T, esto permite que se liberen iones de calcio almacenados en su interior, (Hall, et al., 2016). Los iones de Calcio se adhieren a la Troponina C, ésta activa la tropomiosina, la cual gira y deja descubierta la zona de anclaje de la actina. La cabeza de la miosina se adhiere a la actina y libera un fosfato con lo cual se fortalece la unión llamada puente actina – miosina. Se libera el ADP de la cabeza de la miosina y esta se desplaza a la vez que desplaza la actina, este

proceso se denomina golpe de poder. Para romper esta unión un ATP se adhiere a la cabeza de miosina, luego se hidroliza el ATP en ADP más un fosfato, lo cual permite que la cabeza de la miosina regrese a su posición inicial, proceso ilustrado en la Figura 5, (Pavlov, et al., 2016).

Luego de una fracción de segundo el calcio es bombeado de nuevo al retículo sarcoplásmico, con lo cual culmina la contracción muscular. Se requiere de otro potencial de acción para iniciar el proceso de nuevo y producir una nueva contracción, (Hall, et al., 2016).

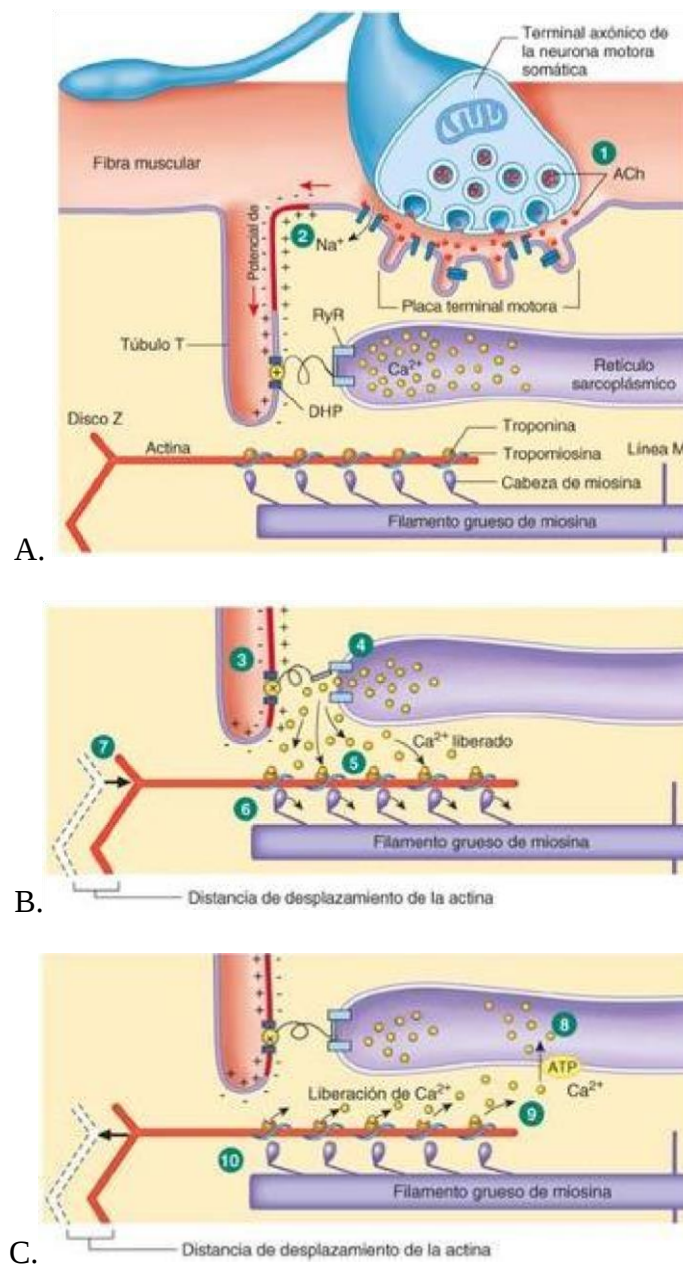


Figura 5. Ciclo de contracción muscular. A. La Acetilcolina liberada en la placa motora produce un potencial de acción muscular. B. Los iones de Calcio son liberados del retículo sarcoplásmico y se produce la contracción muscular. C. Proceso de relajación, los iones de Calcio son bombeados de vuelta al retículo sarcoplásmico. (Silverthorn, et al., 2019).

1.1.1.3.3 Tipos de fibras musculoesqueléticas. A pesar de estar entremezcladas en la mayoría de los músculos, suele predominar un tipo sobre el otro según la acción muscular. Las fibras tipo I predominan en músculos posturales, mientras que las fibras tipo II predominan en los músculos de las extremidades, que requieren potencia y velocidad, (Kendall, et al., 2007). Las fibras de tipo I componen hasta el 50% de los músculos esqueléticos, son de velocidad de contracción y fatiga lenta, lo cual supone un menor gasto de energía; las fibras tipo II son de velocidad de contracción rápida, se dividen en tipo IIA con velocidad de fatiga intermedia y IIB con velocidad de fatiga alta y gasto energético anaeróbico, (Talbot, et al., 2016).

Las fibras musculares tipo I se consideran fibras rojas debido a su alta irrigación sanguínea y altas concentraciones de mioglobina, son innervadas por motoneuronas tipo α -2; son de contracción prolongada, lenta y resistente a la fatiga; su metabolismo es de tipo aeróbico y se encuentran en mayor proporción en los músculos posturales debido a la actividad prolongada que éstos realizan. Las fibras musculares tipo IIb son consideradas fibras blancas de contracción rápida y metabolismo anaeróbico; responden al principio de todo o nada en donde se produce un alto gasto energético a cambio de la mayor potencia; son innervadas por las motoneuronas tipo α -1 de diámetro grande, (Vived, 2005).

Las fibras tipo IIa también son llamadas fibras intermedias ya que comparten características de las fibras blancas y rojas; su metabolismo es aeróbico y su diámetro es mediano; son capaces de resistir por tiempo intermedio y logran generar fuerza considerable, (Vived, 2005).

Las fibras tipo I son de tiempo de contracción lento ya que la actividad glucolítica anaeróbica es baja; debido a su alto contenido de mitocondrias producen alta actividad oxidativa aeróbica y son difíciles de fatigar debido al vasto aporte sanguíneo que reciben. Las fibras tipo IIA y IIB son de diámetro grande, lo cual les permite producir gran tensión por cortos períodos de tiempo. Los tres tipos de fibras se encuentran mezcladas en todos los músculos, (Nordin, et al., 2004).

Tabla 1.

Comparación de los tipos de fibras musculares

Características	Tipos de Fibras		
<i>Tipo</i>	Tipo I	Tipo IIA	Tipo IIB
<i>Tamaño de motoneuronas</i>	Pequeño	Grande	Grande
<i>Umbral de reclutamiento</i>	Bajo	Intermedio	Alto
<i>Velocidad de contracción</i>	Lenta	Rápida	Rápida
<i>Resistencia</i>	Alta	Intermedia / baja	Baja
<i>Producción de fuerza</i>	Baja	Intermedia	Elevada
<i>Contenido de enzimas aeróbicas</i>	Alto	Intermedio / bajo	Bajo

<i>Contenido de enzimas anaeróbicas</i>	Bajo	Alto	Alto
<i>Densidad Capilar</i>	Alta	Intermedia	Baja
<i>Diámetro de las fibras</i>	Pequeño	Intermedio	Grande
<i>Color</i>	Rojo	Rojo / blanco	Blanco

Las fibras musculares varían en diámetro, capacidad y sistema energético, entre otros factores. (Haff, et al., 2017).

En todo cuerpo humano se encuentran los tres tipos de fibras musculares, sin embargo, por disposición genética, algunas personas tienen mayor predominancia en alguno de los tipos de fibras, lo cual los hace más ágiles ante ciertas actividades físicas, (Nagamori, et al., 2017).

1.1.1.3.4 Reclutamiento de fibras musculares. Las motoneuronas salen de la médula espinal e inervan diversos tipos de fibras musculares. Al conjunto de fibras musculares inervadas por una sola fibra nerviosa se le denomina unidad motora; los músculos más precisos, aunque pequeños, tienen más unidades motoras que los músculos grandes que no requieren precisión de movimiento o control fino. Se estima que cada unidad motora contiene de 80 a 100 fibras musculares, (Hall, et al., 2016).

El principio del tamaño de la fibra muscular, propuesto por Henneman en los años 50, establece que las fibras musculares son reclutadas en orden de tamaño, desde la fibra de menor diámetro hasta la fibra de mayor diámetro. Todo esfuerzo muscular inicia con el reclutamiento de las fibras tipo I, si se requiere mayor esfuerzo se reclutan las fibras tipo IIA, mientras las tipo I siguen en acción; si se requiere aún mayor esfuerzo se reclutan las fibras tipo IIB mientras las tipo I y IIA siguen en acción. Este orden de reclutamiento ayuda a disminuir la fatiga muscular, (Morton, et al., 2019).

1.1.1.3.5 Tipos de contracción muscular. La contracción muscular es definida como un aumento de la tensión muscular que conlleva al movimiento. La contracción isotónica consiste en movilizar la articulación de forma que se acerquen los orígenes musculares, llamada contracción concéntrica, o que éstos se alejen, llamada contracción excéntrica. En la contracción concéntrica, la longitud del músculo se acorta mientras que en la contracción excéntrica la longitud del músculo aumenta. La contracción isométrica consiste en aumentar la tensión del músculo sin movilizar la articulación, (Hubert, et al., 2017).

Toda contracción muscular inicia con una contracción isométrica en su fase estática y luego proceden al movimiento de la articulación. En este tipo de contracción la tensión producida es mayor que en la contracción concéntrica y, a pesar de no producirse movimiento ni desarrollar trabajo mecánico, si se desarrolla trabajo fisiológico y gasto de energía. La contracción excéntrica es la que mayor tensión produce, aún incluso que la contracción isométrica, ya que estas se realizan en contra de la acción muscular agonista y produce tensión complementaria. La concéntrica y excéntrica son complementarias, ya que una para ejecutar una se debe ejecutar la opuesta al colocar el miembro en reposo, véase Figura 6, (Nordin, et al., 2004).

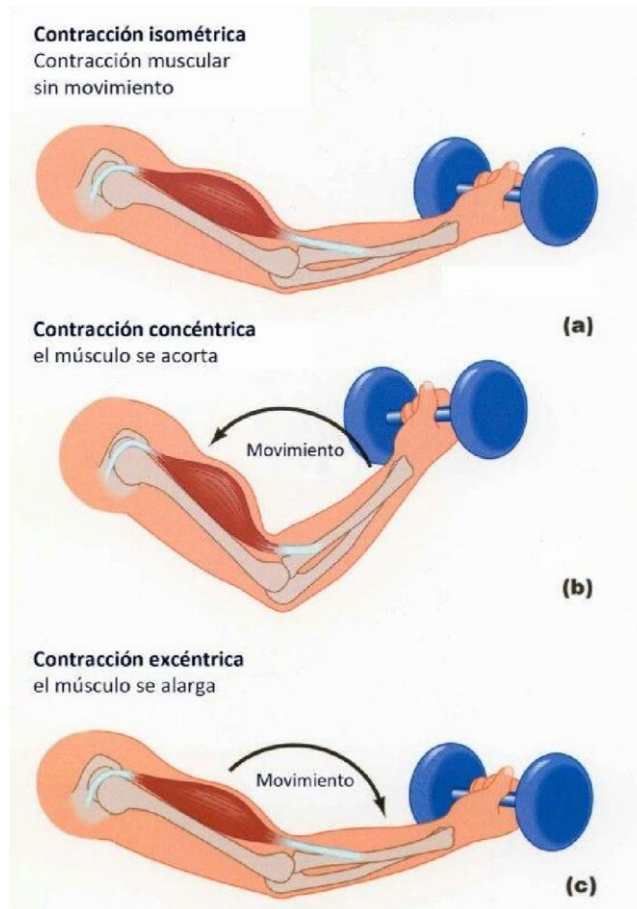


Figura 6. Tipos de contracción muscular. (Coll, 2018).

1.1.2 Cáncer infantil. A diferencia del cáncer en adultos, no es posible implementar estrategias de prevención primaria para el cáncer en niños y adolescentes debido a sus cambios fisiológicos a lo largo del desarrollo, así como tampoco existen métodos de tamización que permitan la detección e intervención temprana, (Gómez, et al., 2020).

1.1.2.1 Definición. El cáncer es una enfermedad, o conjunto de enfermedades que, a diferencia de infecciones por parásitos o gérmenes, se desarrolla dentro del cuerpo humano, las células propias son las principales agentes destructoras de tejido circundante y lo transforman en tejido dañado, disfuncional o patológico, (Hausman, 2019).

El cáncer es considerado un desorden de células que se dividen anormalmente, lo que conduce a la formación de agregados que crecen y dañan tejidos vecinos, se nutren del organismo y alteran su fisiología. Además, estas células pueden migrar e invadir tejidos lejanos, donde encuentran un nicho apropiado para continuar su crecimiento; a este fenómeno se le conoce como metástasis, (Sánchez, 2013).

El cáncer es, en su forma de expresión más simple, un término utilizado para describir un grupo de enfermedades que causan crecimiento descontrolado de cualquier célula del cuerpo, así como disminución de su función normal lo cual, en la mayoría de los casos, lleva a muerte celular y necrosis tisular, (Velten, et al., 2017).

1.1.2.2 Tipos. El cáncer puede ser clasificado en dos grupos: tumores hemato-linfoides [leucemia y linfoma] y tumores sólidos; cada uno de los cuales tienen mayor frecuencia en ciertos grupos de edades. Los tumores más frecuentes en la infancia [0-14 años] son las leucemias, seguidas de los tumores del sistema nervioso central y los linfomas [Hodgkin y no Hodgkin]. En la adolescencia [15-19 años] son más frecuentes los linfomas, seguidos de los tumores de sistema nervioso central y las leucemias, (Gómez, et. al., 2020).

Existen algunos tipos de cáncer que se encuentran únicamente en pacientes pediátricos cuyas presentaciones son únicas en cada niño. Entre éstos, se pueden nombrar:

1.1.2.2.1 Retinoblastoma. Formación de un tumor maligno en la retina. Usualmente detectado por visitas médicas de pacientes pediátricos que presentan leucocoria, estrabismo o falta de reflejo rojo u otros síntomas menos frecuentes como hemorragia del humor vítreo o celulitis orbital. La edad promedio de diagnóstico es de 2 años. Este tipo de cáncer es de los

principales en ser detectados ya que los síntomas son notorios a partir de los primeros estadíos y suele ser tratado con radiación, quimioterapia o fotocoagulación, (Prusakowski, et al., 2017).

1.1.2.2.2 Neuroblastoma. Fuera del sistema nervioso central, el neuroblastoma es el tumor sólido más común entre la población infantil y representa aproximadamente el 50% de las neoplasias infantiles. Consiste de un tumor maligno que se deriva de las células de la cresta neural y se encuentra más comúnmente en la médula suprarrenal, (Prusakowski, et al, 2017).

1.1.2.2.3 Tumor de Wilms. Este tipo de tumor, también llamado nefroblastoma por ser desarrollado en el riñón, es altamente peligroso debido a los efectos que produce no sólo en los riñones, como se muestra en la Figura 7, sino los efectos colaterales como la infertilidad, toxicidad cardíaca y Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica [EPOC]. Es el tipo de cáncer de riñón más común en los niños y se diagnostica de forma accidental, debido a que los síntomas pueden confundirse con infecciones urinarias o no presentar síntomas en absoluto, más comúnmente en las edades de 2 a 4 años, (Aldrink, et al., 2019).

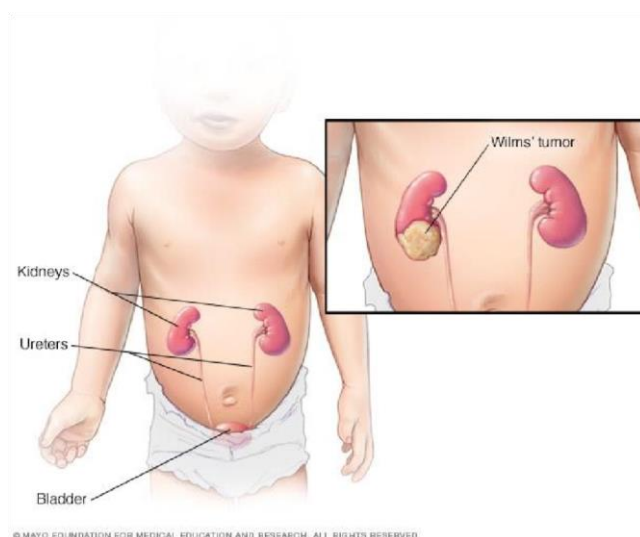


Figura 7. Tumor de Wilms en riñón derecho. (Litin, 2018).

1.1.2.2.4 Meduloblastoma. Es el tumor más común en el sistema nervioso central, que representa aproximadamente un 10% de todos los tumores cerebrales infantiles. Se define

como un tumor neuroepitelial que se desarrolla en el cerebelo y es de constitución densa, redonda y pequeña; estos tumores también pueden crecer en el cuarto ventrículo. Los síntomas más comúnmente presentados son cefalea, parálisis de par craneal VI, ataxia cerebelar o la combinación de todos estos síntomas; esto es debido a la compresión causada por el tumor y el bloqueo del paso del líquido cefalorraquídeo, (Dang, et al., 2017).

1.1.2.2.5 Tumor de tejido óseo primario. Tumores que se forman en las células óseas; representan alrededor del 3% de todos los tipos de cáncer en niños y adolescentes. Los tumores de tejido óseo primario se dividen en varios tipos, sin embargo, los más comunes en niños y adolescentes son el osteosarcoma y el sarcoma de Ewing, (Folkert, et al., 2019).

1.1.2.2.6 Osteosarcoma. Es el tipo de cáncer de tejido óseo primario más común en niños y adolescentes. Frecuentemente se vuelve resistente a los tratamientos convencionales que presentan un alto índice de metástasis y propagación tumoral, como se muestra en la Figura 8. Su resistencia al tratamiento es mayor debido a que infecta directamente las células formadoras de nuevo componente óseo, es decir, infecta células nuevas, (Brown, et al., 2016).

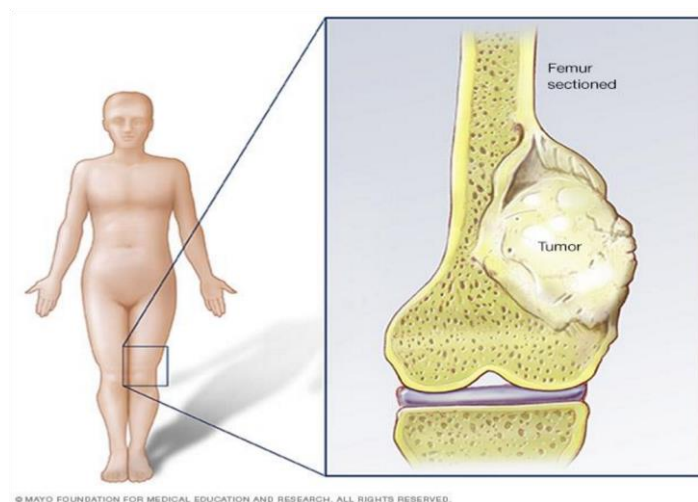


Figura 8. Formación de osteosarcoma en fémur. (Litin, 2018).

1.1.2.2.7 Sarcoma de Ewing. Neoplasias mesenquimatosas de células redondas altamente agresivas que abarcan menos del 1% de los sarcomas de tejido blando y afecta principalmente la metáfisis de los huesos largos, especialmente el fémur. Se visualizan como masas de múltiples protuberancias que presentan extensa necrosis y hemorragia interna y se asocia comúnmente al crecimiento físico mayor al de la curva normal de crecimiento acompañado de dolor sin raíz aparente, (Sbaraglia, et al., 2020).

1.1.2.3 Etiología. Las causas de cáncer tienen un amplio espectro, pero en cuanto a cáncer infantil, existen algunas causas más comunes que han sido estudiadas:

1.1.2.3.1 Radiación ionizante. Agente carcinogénico dosis - dependiente, capaz de transferir energía altamente estructurada de eventos de ionización y excitación que pueden producir daños complejos al ADN. Clasificada por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer [IARC] como carcinógeno del grupo 1, con alto riesgo de producir neoplasias en tejidos diana, no solo por la exposición ambiental sino por el efecto iatrogénico por el uso en métodos diagnósticos y tratamiento contra neoplasias, (González, et al., 2018).

1.1.2.3.2 Agentes biológicos. La alta y prolongada exposición desde la infancia a agentes biológicos infecciosos, microorganismos en altas concentraciones en un ambiente favorable para su desarrollo, conlleva a la cultivación de los mismos en el organismo de forma lenta, muchas veces con manifestaciones como alergias, infecciones, reacciones adversas a alimentos o medicamentos y deriva en debilidad del sistema inmune por su inmadurez ante tales amenazas. Estas condiciones suelen ser precarias y se dan comúnmente en países en vías de desarrollo o áreas con problemas de pobreza, alimentación e higiene, (Dykewicz, et al. 2018).

1.1.2.3.3 Patrón dietético. Un patrón dietético alto en azúcares, grasas saturadas y alimentos químicamente modificados representa un alto riesgo para la adquisición de enfermedades crónicas. La dieta en relación al cáncer ha ganado auge con el avance de los años debido al aumento de la evidencia de la probabilidad de prevenirlo mediante la mejor selección de mejores alimentos, (Mayne, et al., 2016).

1.1.2.3.4 Tabaco.: “La IARC asocia la exposición al tabaco como factor desencadenante de neoplasias en la población infantil, así como de infecciones respiratorias, disfunciones pulmonares y asma, favorecidos por la inmadurez anatómo-fisiológica de sus sistemas orgánicos” (González, et al., 2018, p. 5). A pesar de que si existe un alto índice de niños menores a 10 años que consumen tabaco de forma directa, muchos otros se encuentran expuestos constantemente al humo del tabaco expulsado por otras personas; como fumadores pasivos a tempranas edades, se encuentran en mayor riesgo de adquirir una enfermedad o infección respiratoria, (Armstrong, et al., 2020).

1.1.2.4 Fisiopatología. El proceso en el que las células se transforman en cancerosas se denomina carcinogénesis. La transformación progresiva de células normales a células altamente malignas se origina en malformaciones genéticas llamadas mutaciones; éstas pueden ser adquiridas o heredadas. En la célula humana normal, el protooncogén es el encargado de regular la proliferación y crecimiento celular, al estar alterado se denomina oncogén y su mutación es de tipo dominante lo cual hace que las células proliferen y crezcan a velocidad mayor de la normal. Los genes supresores de tumores son los encargados de proliferación, crecimiento y apoptosis [muerte programada] celular. Al existir alteración en ambos las células se multiplican más velozmente y logran evadir la apoptosis, lo que resulta en el crecimiento aberrante de las células, (Sánchez, 2013).

La carcinogénesis depende del sistema de hormonas, de los factores de crecimiento e inhibidores de crecimiento para poder subsistir, ya que éstos permiten la comunicación e interacción entre células. Estos factores tienen acción endocrina, para influir sobre células distantes; acción paracrina, para influir sobre células adyacentes y acción autocrina, en la cual la célula produce un factor que será captado por sí misma. Cuando éstos factores se encuentran alterados y existe sobrepoblación de los mismos, se modifica la emisión de señales, lo que conlleva a la formación del fenotipo maligno, (McPhee, et. al., 2015).

Las dos principales situaciones que deben darse para que la célula mute de esta forma es la inestabilidad genómica, que es un conjunto de aberraciones cromosómicas como deleciones o sustituciones de nucleótidos que favorece la progresión tumoral y la inflamación tumorigénica, causada cuando el sistema inmune se activa para detener las células malignas y recluta macrófagos; ya que la tasa de crecimiento es demasiado elevada, la cantidad de tiempo que éstos necesitan para realizar su labor de consumir el tejido maligno es mayor, lo que provoca una inflamación crónica; ésta promueve la angiogénesis, que alimenta de nutrientes al tejido tumoral que a su vez promueve su fortalecimiento y duplicación veloz, (Sánchez, 2013).

El proceso de carcinogénesis se da principalmente en el proceso de división celular al fallar en el proceso correcto: Cuando la célula nueva debe de continuar su proceso de maduración para funcionar como célula de un tejido específico pero en su lugar entra al proceso de división, cuando la célula especializada entra de nuevo al proceso de división o cuando la célula ingresa al proceso de reparación de ADN [Ácido Desoxirribonucleico] celular y no se detecta el error en ella y se omite la apoptosis. Luego de estos procesos erróneos, la célula maligna comienza su proceso de división nuevamente y así, con su reproducción exponencial, se forma un tumor, (Graham, et. al., 2017).

1.1.2.5 Epidemiología. El cáncer es la causa principal de muerte infantil, con 300 mil casos anuales en todo el mundo, de los cuales, menos del 60% reciben la atención médica oportuna o atención médica alguna. Para los años 2020 a 2050 se estima que existan 13.7 millones de casos nuevos de cáncer infantil en todo el mundo de los cuales, con base a los niveles de salud actuales, 6.1 millones [44.9%] no serán diagnosticados a tiempo. Esto se debe a la falta de acceso a la atención médica especializada, así como a medicamentos, (Atun, et al., 2020).

Los tumores más frecuentes en la edad pediátrica a nivel mundial fueron las leucemias con 78.069 casos nuevos, los tumores del sistema nervioso central con 30.106 casos nuevos, el linfoma no Hodgkin con 22.964 y el linfoma Hodgkin con 13.806. En América Latina y el Caribe 32.386 menores de 18 años fueron diagnosticados con cáncer, (Gómez, et al., 2020, citando a Globocan [Global Cancer Observatory], 2018).

Se estima que anualmente se diagnostican 163,300 casos de cáncer infantil en el mundo y en promedio uno en cada 450 niños menores de 15 años y uno de cada 285 niños entre los 15 y 20 terminan en deceso, es decir 80,000 defunciones al año. En América Latina y el Caribe, 17,500 nuevos casos son diagnosticados cada año y más de 8,000 muertes se registran por esta enfermedad, (González, et al., 2018).

Este alto número de decesos en países en vías de desarrollo se debe a que los costos de tratamiento son altos y no se cuenta con cobertura total pública, por lo tanto, se estima que solo un 66% de los niños que comienzan su tratamiento lo terminan, (Steliarova, et al., 2017).

El cáncer en menores de 15 años representa entre un 0,5% y un 4,6% de la carga total de morbilidad por esta causa, con tasas mundiales de incidencia, que oscilan entre 50 y 200 casos por cada millón de niños en las distintas partes del planeta, (Gómez, et al., 2020).

Según un estudio realizado entre 2001 y 2010 de recopilación de datos de cáncer infantil en los países de Centro América, en niños entre 0-19 años se reportan 40 mil casos nuevos cada año, donde la leucemia es el tipo de cáncer más común del área. La incidencia reportada fue mayor en niños que en niñas con 1:17 en el grupo de 0-14 años y 1:14 en el grupo de 0-19 años, (Steliarova, et al., 2017).

Según el reporte anual de la Organización Mundial de la Salud, al año 2020 el total de casos de cáncer en niños de 0-14 años fue de 875, de los cuales 244 son de leucemia linfoblástica aguda, 22 de linfoma de Hodgkin, 6 de linfoma de Burkitt, 61 de tumores del sistema nervioso central, 24 de retinoblastoma, 34 de tumor de Wilms y 484 de otros tipos de cáncer infantil, con probabilidad de muerte prematura de 3.2%, (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2020).

En Guatemala, un país que cuenta con 0.2 centros de atención de cáncer infantil por un millón de menores de 15 años, se registra incidencia de 7.8 casos por cada 100 mil menores de 15 años con una tasa de abandono del tratamiento del 2%. La tasa de mortalidad total por esta causa es de 3.1; 3.3 en hombres y 2.9 en mujeres por cada 100 mil menores de 15 años. A pesar de esto, la tasa supervivencia de 67% es 3% mayor a la media regional [Centro América y el Caribe], (Cuadrado, et al., 2017).

1.1.2.6 Diagnóstico. A pesar de ser detectado de forma accidental, el cáncer en niños tiene un mejor pronóstico ya que los cambios en un niño son más notorios que los cambios en adultos, adicionalmente los niños suelen comúnmente quejarse y expresar la forma en que se sienten, cooperando indirectamente a la detección temprana de enfermedades crónicas como lo es el cáncer, (Gómez, et. al., 2020).

El diagnóstico de cáncer infantil involucra gran parte de la observación y atención de los padres ante los cambios físicos o síntomas que sus hijos experimentan. Éstos cambios son alertas que despiertan sospechas sobre alguna enfermedad en los niños y permite que éstos sean llevados ante el pediatra para su revisión y examinación, (Landier, et. al., 2016).

Los médicos observan cambios importantes, indicadores que pueden ser observados en los niños en chequeos rutinarios; observan signos y síntomas en ojos, piel, boca, manos, pérdida de peso sin razón aparente, sangre en orina, heces o secreciones nasales, cambios en los hábitos del niño tales como pérdida del apetito, falta de energía o interés y anemia. Una vez detectados algunos de los síntomas de acuerdo a la localización de los mismos, se realizan exámenes para detección definitiva, (Brayley, et. al., 2019).

Las pruebas de laboratorio para la detección del cáncer en niños suelen ser utilizadas sobre todo para leucemia, ya que se realiza conteo de glóbulos blancos, rojos y plaquetas. Sin embargo, otros tipos de cáncer pueden no ser detectados oportunamente por éstos métodos, por lo cual se recurre a imagenología, (Graham, et. al., 2017).

La radiografía es el principal método de detección de masas anormales en niños ante la sospecha de cáncer, es un método de costo medio que permite observar a través del tejido corporal si se detecta alguna malformación, protuberancia o acumulación celular anormal. A diferencia de la resonancia magnética, la radiografía resulta un método más cómodo para el paciente infantil, (Handa, et. al., 2019).

La biopsia del tejido, extracción parcial o total del tejido considerado maligno, es la forma más efectiva de detección de cáncer. Sin embargo, se requiere una inspección previa que permita llegar a la conclusión de la necesidad de una biopsia. Nuevas e innovadoras formas de

detección de cáncer a partir de nanopartículas permiten que se detecte el cáncer desde estadíos muy tempranos donde se logra encontrar defectos a nivel cromosómico. Sin embargo, los costos de estos métodos son elevados y altamente especializados, lo cual significa que no están al alcance de toda la población, (Srivastava, et. al., 2019).

En países en vías de desarrollo, el mayor obstáculo presente es la falta de acceso a atención sanitaria adecuada, además del desconocimiento sobre los signos y síntomas que deben tomarse en cuenta. El analfabetismo, la escasez de recursos, la injusticia social y las condiciones de vida deplorables de ciertos países hace que la detección oportuna de cáncer en niños sea un reto difícil de superar, lo que lleva a que muchos niños sean diagnosticados con la enfermedad hasta estadíos avanzados, (Verma, et. al., 2020).

1.1.2.7 Tratamiento médico. El tratamiento más efectivo para los tumores de tipo sólido es la extirpación del mismo mediante cirugía, sin embargo, la mayoría de los cánceres que son extraídos son acompañados por un tratamiento químico, la quimioterapia, o tratamiento con radiación ionizante, radioterapia, (Roy, et al., 2016).

1.1.2.7.1 Quimioterapia. Administración de agentes citotóxicos por vía intravenosa, oral o de ambas formas tanto a las células en reposo como en división. El propósito de esta citotoxicidad es causar daño celular a las células malignas como apoyo al sistema inmune del propio cuerpo y evitar que éstas se reproduzcan, multipliquen, invadan, creen metástasis o conlleven a la muerte del paciente. La Figura 9 muestra este proceso, (Roy, et al., 2016).



Figura 9. Aplicación de quimioterapia intravenosa. (Bouvet, 2016).

1.1.2.7.2 Efectos de la quimioterapia. Si bien el tratamiento más común para el cáncer es la quimioterapia, ésta por sí misma genera efectos adversos que, en muchos casos, suelen ser más fuertes o peligrosos que el cáncer en sí. Esto se debe a la agresividad e invasividad del tratamiento que vuelve más vulnerable el organismo de los niños por estar estos aún en desarrollo, (Linder, et al., 2019).

- *Dolor.* El dolor es un síntoma común y angustioso del cáncer pediátrico, como lo reportan tanto los pacientes como sus padres. Los niños con cáncer frecuentemente reportan dolor en la trayectoria de la enfermedad desde el diagnóstico hasta que superan la enfermedad o fallecen. El dolor asociado con el cáncer puede producirse por varios procesos incluidos los propios tratamientos de este [como quimioterapia y radioterapia], procedimientos médicos [extracción de sangre accesos a implantes y punciones lumbares] aparte de la enfermedad por sí misma, (Tutelman, et al., 2017). Muchas veces el dolor causado por los tratamientos es superior al dolor del cáncer por sí mismo y los tratamientos para el dolor no son lo suficientemente efectivos y,

además, causan disfunciones como efecto colateral. Las localizaciones más comunes del dolor son el abdomen, la espalda baja, la frente y el pecho, (Linder, et al., 2019).

- *Trombosis asintomática.* La formación de un coágulo sanguíneo en las venas suele venir acompañada por dolor, adormecimiento de la extremidad y protuberancias en la misma. En algunos casos, estos síntomas no están presentes y es difícil evidenciar la patología, más aún si el sistema se encuentra bajo fatiga constante como en el tratamiento por quimioterapia. Esto puede darse por la constante introducción de sustancias químicas en el conducto venoso que causan desequilibrio celular, (Brown, et al., 2017).
- *Síndrome de encefalopatía posterior reversible.* Común en niños en tratamiento de quimioterapia los cuales desarrollan hipertensión, cambios de estado mental, convulsiones y síntomas neurológicos focales que incluyen cambios en la visión. Se requiere un tratamiento adicional para mitigar los síntomas, lo cual puede producir a su vez otros efectos adversos. Entre los efectos colaterales más comunes se encuentra el déficit de coagulación, hipotensión por tratamiento de hipertensión, debilidad, mareos, náuseas, irritación e incluso disminución de la función cognitiva, (Armstrong, et al., 2020).

1.1.2.7.3 Radioterapia. Tratamiento contra el cáncer de modalidad local de aplicación que consiste en aplicar radiaciones ionizantes, como se muestra en la Figura 10, que causa la desintegración espontánea de átomos, a una zona específica del cuerpo para destruir exclusivamente las células cancerosas e impedir que se multipliquen e invadan otras células sanas, (Roy, et al., 2016).



Figura 10. Cámara de aplicación de radioterapia infantil. (Teletón México, 2021).

- *Efectos de la radioterapia.* Debido a que es un tratamiento invasivo que se enfoca en la configuración celular, los efectos que puede llegar a producir pueden ser no solo desagradables e incómodos, sino que pueden llegar a afectar otras áreas del organismo en proporciones menores al cáncer. Posterior a la radioterapia, ocurre típicamente la arteriopatía caracterizada por estenosis en las arterias carótidas internas y arterias cerebrales anteriores, lo cual aumenta el riesgo de infarto, (Armstrong, et al., 2020).
- *Obstrucción de la vía aérea.* En al menos el 60% de los pacientes con tratamiento de radiación la obstrucción de la vía aérea es un efecto colateral, donde los tipos de cáncer más comúnmente afectados son la leucemia, linfomas y neuroblastomas. Los niños corren mayor riesgo debido a lo estrecho de sus tráqueas y bronquios, los cuales tienen diámetros intraluminales menores. Estos síntomas se presentan, en su mayoría, con sibilancias, tos o disnea. Como consecuencia de la reducción de ingreso de aire y oxígeno, los músculos y tejidos suelen perder oxigenación lo que deriva en fatiga y debilidad generalizada, (Prusakowski, et al., 2017).

- *Miastenia Grave*. La miastenia grave se presenta con debilidad fatigable de los músculos proximales de las extremidades, músculos oculares o músculos bulbares. Ésta es causada por los anticuerpos de receptores de acetilcolina o tirosina kinasa específicamente muscular. Esta es de las principales razones por las que los pacientes no solo deben sino sienten la necesidad de descansar luego de cada sesión de tratamiento radiológico, (Armstrong, et al., 2020).

“El aumento de la supervivencia al cáncer en conjunto con las cada vez más agresivas terapias ha marcado la importancia de los cuidados de apoyo y manejo de síntomas en los pacientes pediátricos” (Tutelman, et al., 2017, p. 3).

1.1.2.8 Tratamiento fisioterapéutico. El ejercicio físico ha demostrado ser de gran utilidad en la recuperación de la movilidad y fuerza luego del tratamiento de cáncer como medida de rehabilitación. Su práctica se asocia a menor probabilidad de recurrencia cancerígena, especialmente en cánceres relacionados a procesos hormonales, (Idorn, et al., 2017).

La evidencia científica del tratamiento fisioterapéutico generalmente se especializa en la reducción del dolor posterior al tratamiento químico, sin embargo, existen otros efectos secundarios que pueden ser aliviados con la aplicación de diversas técnicas manuales e instrumentales, (Groves, et al., 2019).

El masaje terapéutico se caracteriza por aumentar el riego sanguíneo local y permitir la relajación muscular lo que provoca reducción del dolor. El masaje terapéutico de tipo *effleurage*, *petrissage* y fricciones con presión moderada aplicado en piernas, cuello, brazos y espalda ha demostrado reducción del dolor hasta cuatro horas después de la aplicación de quimioterapia en niños. La aplicación de masaje terapéutico en dos sesiones, 24 horas y media hora antes de la sesión de quimioterapia en niños de 1 a 13 años está relacionado a la

reducción del dolor, calma de ansiedad y retraso o eliminación de la náusea luego de la aplicación de quimioterapia. Esto se debe, posiblemente, a la activación indirecta del sistema nervioso lo cual contrarresta la secreción de serotonina de la quimioterapia. Éstos resultados son indiferentes al área de aplicación del masaje, (Rodríguez, et al., 2017).

Se evidencia mejoría en la realización de actividades de la vida diaria, medida mediante la escala del desarrollo del juego de Lansky, así como mejoría en el estado de ánimo, medida subjetiva de observación, y el aumento del rango de movimiento articular, medido mediante goniómetro convencional, en la aplicación de ejercicios activos libres y terapia manual realizada por un fisioterapeuta en niños de 1 a 18 años con leucemia linfoblástica aguda. A medida que la intensidad de la terapia disminuye, los resultados previamente mencionados mejoran significativamente, (Tanner, et al., 2017).

El manejo del dolor en niños y adolescentes con cáncer es de suma importancia ya que, si existe dolor, las demás actividades se desarrollarán de forma deficiente. El uso de terapias integrales que involucren aplicación de crioterapia y termoterapia, Electro Estimulación Transcutánea [TENS por sus siglas en inglés] aplicación mostrada en la Figura 11, ejercicio terapéutico, biofeedback y aditamentos de apoyo en la marcha conforman una terapia integral en el manejo del dolor. Los cuidados paliativos permiten la reducción del sufrimiento y el aumento de la esperanza personal, lo cual mejora la calidad de vida del niño, (Duffy, et al., 2019).



Figura 11. Aplicación de TENS para alivio del dolor. (García, 2013).

1.2 Antecedentes específicos

1.2.1 Ejercicio aeróbico. El ejercicio como método terapéutico es un servicio sanitario ofrecido por fisioterapeutas a personas que lo necesiten por alguna discapacidad o limitación o personas que lo soliciten por prevención o mejora de capacidades funcionales. El ejercicio terapéutico comprende actividades físicas y técnicas que permiten lograr objetivos funcionales en la salud del paciente tales como mejorar el estado físico, prevenir complicaciones de cierta enfermedad, mejorar el estado de ánimo y favorecer la independencia del paciente en sus actividades cotidianas, (Hall, et. al., 2006).

Existen diversos tipos de ejercicio terapéutico, cada uno dirigido a lograr objetivos específicos. Entre ellos se puede mencionar: Ejercicio de fortalecimiento muscular, de control neuromuscular, de control postural, de educación de la marcha, de entrenamiento de equilibrio y propiocepción, de reeducación de gestos motores específicos y ejercicio aeróbico generalizado, (Kisner, et. al., 2007).

1.2.1.1 Definición El ejercicio aeróbico es aquel que permite la utilización de oxígeno para realizar la actividad física, eleva el ritmo cardíaco por encima del promedio personal y brinda

mayor aporte de oxígeno a músculos y tejidos según lo requieran. Además, este tipo de ejercicio se alimenta por el proceso de glucólisis aeróbica, (Mann, 2015).

También llamado acondicionamiento aeróbico o entrenamiento aeróbico, se considera el tipo de ejercicio que aumenta el consumo de energía y el aporte sanguíneo en el músculo y por ende, de nutrientes necesarios; además, permite que éste, mediante la práctica constante del ejercicio, mejore sus capacidades físicas tales como fuerza y resistencia, (Kisner, et. al., 2007).

El ejercicio aeróbico es el que mayor evidencia científica posee por su característica de mejorar las capacidades cardíacas y pulmonares, así como de mejorar el estado de ánimo del individuo que lo practica regularmente. Su consumo de energía es bajo lo cual permite la ganancia de resistencia muscular y cardiopulmonar, (Seals, et. al., 2019).

1.2.1.2 Factores determinantes. Para que el ejercicio aeróbico brinde resultados favorables, deben de considerarse factores que, correctamente combinados, conlleven a la mejora de las capacidades funcionales.

1.2.1.2.1 Frecuencia. La frecuencia se refiere a la cantidad de veces que se realiza el entrenamiento o número de sesiones en un período estipulado: semana, mes o ciclo; es dependiente de los objetivos calóricos de la persona, su nivel de salud, sus aptitudes físicas, sus preferencias y limitaciones temporales. Se recomienda, para obtener beneficios en la salud y cambios significativos en la tolerancia cardiorrespiratoria, ejercitar con intensidad moderada de forma diaria o descansar uno o dos días intermedios en los primeros estadios para evitar lesiones musculoesqueléticas y, una vez logrado el nivel de aptitud cardiorrespiratoria deseado, se debe mantener el ejercicio constante 2 a 4 veces por semana, (Heyward, 2006).

1.2.1.2.2 Intensidad. La intensidad se relaciona con la capacidad del organismo para generar energía y el porcentaje de volumen de oxígeno máximo [$\text{VO}_{2\text{máx}}$]; es la relación de la fuerza muscular y la tensión puesta sobre el sistema cardiovascular. La intensidad y el volumen son proporcionalmente inversos, debido a que mientras menor sea la intensidad, mayor será la tolerancia del volumen de ejecución. Con el aumento de la intensidad, aumentan las acciones musculares que estimulan el transporte de oxígeno y la producción de energía, lo que resulta en mayor capacidad de resistencia cardiopulmonar, (Wilmore, et. al., 2007).

La intensidad es medida, en la mayoría de los casos, mediante el consumo de oxígeno o la frecuencia cardiaca objetivo, aquella a la cual se quiere llegar según el porcentaje de intensidad aplicado; los valores a considerarse para este factor deben ser:

Intensidad baja: Menor al 50% de la frecuencia cardiaca máxima

Intensidad moderada: 50% - 70% de la frecuencia cardiaca máxima

Intensidad vigorosa: 70% - 85% de la frecuencia cardiaca máxima

Intensidad máxima: Mayor al 85% de la frecuencia cardiaca máxima.

La intensidad se selecciona en base al objetivo de entrenamiento planteado, los hábitos de ejercicio del practicante y su edad, (Litin, 2018, citando a American Heart Association, 2017).

1.2.1.2.3 Volumen. El volumen del entrenamiento es definido como el tiempo que se dedica a la práctica de ejercicio físico por día, semana o mes y se toma en cuenta la cantidad de series y repeticiones del ejercicio realizado. El volumen adecuado varía en cada persona, según el tipo de ejercicio o deporte realizado y según la cantidad de calorías consumidas en el mismo.

Los mejores resultados en resistencia física se obtienen con el aumento progresivo del volumen por período de entrenamiento y a tolerancia mediante la practica a una intensidad óptima que permita aumentar el volumen sin fatiga inmediata, (Wilmore, et. al., 2007).

1.2.1.2.4 Tipo de actividad. Se refiere a los movimientos mediante los cuales se administra estrés fisiológico al cuerpo, los ejercicios o deportes utilizados para el entrenamiento según su propósito. Los ejercicios de acondicionamiento físico tienen como propósito mejorar capacidades físicas tales como aumentar la fuerza, mejorar la capacidad respiratoria y la resistencia cardiopulmonar o lograr hipertrofia muscular mientras que los ejercicios de competencia se enfocan en practicar técnicas deportivas y gestos motores específicos de dicho deporte para mejorar la calidad de ejecución durante la competencia, (Mann, 2015).

El tipo de actividad se encuentra ligada a la técnica y al objetivo de entrenamiento, entre ellas se puede mencionar: entrenamiento del equilibrio y la propiocepción, entrenamiento de la marcha, fortalecimiento muscular, ejercicios acuáticos, entrenamiento funcional y estiramientos activos y pasivos, (Hall, et. al., 2006).

1.2.1.2.5 Métodos de entrenamiento. Los métodos de entrenamiento deben ser considerados en base a las cualidades físicas del paciente, la tolerancia de este ante el ejercicio y los objetivos que se desean alcanzar mediante el entrenamiento, ya que cada método solamente producirá resultados si se combinan estos factores de forma efectiva, (Kisner, et. al., 2007).

- *Entrenamiento contra resistencia.* Este método está diseñado para incrementar la fuerza, potencia y resistencia muscular. Se deben considerar los grupos musculares específicos a trabajar para poder seleccionar los ejercicios adecuados. Se toman en cuenta las variables de series, repeticiones y carga; la carga puede ir en aumento progresivo por serie, sesión o ciclo al igual que las series, repeticiones y tiempo de descanso entre series, (Wilmore, et. al., 2007).
- *Entrenamiento continuo.* Método centrado en mantener la intensidad prescrita de forma constante durante todo el ejercicio desde que se alcanza el estado de equilibrio;

se realiza a intensidades bajas y moderada y es más adecuado para iniciar un programa de ejercicios aeróbicos. Entre estos métodos se puede considerar la práctica de ciclismo, trote, caminata, remo, danza aeróbica, natación y ejercicios aeróbicos acuáticos, (Heyward, 2006).

- *Entrenamiento interválico.* El entrenamiento discontinuo conlleva series de ejercicios de intensidad baja o alta con períodos de reposo para recuperación interpuestos. Este método, por su naturaleza intermitente, permite mayor intensidad y cantidad de trabajo durante el entrenamiento y es un método versátil para deportistas y sujetos con aptitud cardiorrespiratoria baja, (Heyward, 2006).

El entrenamiento en intervalos es más efectivo para aumentar la velocidad de ejecución y la tolerancia aeróbica al modificar la intensidad y los períodos de reposo. Se ha demostrado en diversas investigaciones que se puede ejecutar un esfuerzo mayor si éste se descompone en series breves y de alta intensidad con períodos de descanso o con actividad reducida entre series, (Martin-Smith, et. al., 2019).

1.2.1.3 Pruebas funcionales de valoración aeróbica La valoración del ejercicio aeróbico es principalmente respecto a variables ligadas al esfuerzo cardiopulmonar:

1.2.1.3.1 Consumo máximo de oxígeno. Cantidad máxima de oxígeno que se consume por minuto al alcanzar el esfuerzo máximo, es expresada en relación al peso corporal: mililitros de oxígeno por kilogramo de peso corporal por minuto [ml / kg por minuto]. Esta medida depende de la capacidad de fijar el oxígeno en la sangre, de la función cardíaca, de la capacidad cardíaca para extraer el oxígeno y del potencial oxidativo de los músculos; se define mediante el principio de Flick y su ecuación, (Kisner, et. al., 2007).

El principio de Flick se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$VO_2 = \text{Gasto Cardíaco} * \text{Diferencia arteriovenosa de } O_2$ donde

$\text{Gasto Cardíaco} = \text{Frecuencia Cardíaca} * \text{Volumen Sistólico}$ y

$\text{Diferencia arteriovenosa de } O_2 = \text{oxígeno arterial} - \text{oxígeno venoso}$

Este principio establece que la velocidad con que se consume el oxígeno es proporcional al flujo sanguíneo por la velocidad de captación de oxígeno y que la liberación de una sustancia por un órgano es igual al producto del flujo sanguíneo que pasa por ese órgano por la diferencia de la concentración venosa de esa sustancia, (Perry, et. al., 2019).

1.2.1.3.2 Prueba de esfuerzo en ergómetro. Los ergómetros son máquinas de ejercicio estáticas que, en este caso, son utilizadas para producir esfuerzo en el paciente y detectar manifestaciones clínicas como disnea, mareos, agotamiento o dolor, y monitorear parámetros, frecuencia cardíaca, tensión arterial, frecuencia respiratoria, ecocardiograma, consumo de oxígeno [VO_2] y liberación de dióxido de carbono [VCO_2], que indiquen los valores máximos según la capacidad y riesgo cardiovascular ante el ejercicio de cada individuo para la prescripción del mismo, (Löllgen, et. al., 2018).

En la medicina del deporte, la prueba de esfuerzo en ergómetro está indicada en personas con diagnóstico de enfermedad latente y posibles riesgos en el deporte, para valoración física previa a entrenamiento, para la evaluación de síntomas cardiopulmonares, para medir la capacidad física en medicina ocupacional y contraindicada en angina estable, hipertensión arterial incontrolada, infarto agudo al miocardio reciente y precauciones con respecto al equilibrio del paciente, (Kenn, et. al., 2018).

Para la realización de ésta prueba, existen diversos protocolos específicos que se pueden utilizar, a continuación se mencionan 2:

- *Protocolo de Bruce.* Ejercicio de carga progresiva realizado en banda sin fin en 7 etapas de 3 minutos cada una, donde se aumenta la velocidad y la inclinación de la banda por etapa, lo cual provoca saltos bruscos en la carga de trabajo. Se monitorea al final de cada etapa la frecuencia cardíaca y el esfuerzo percibido por el paciente mediante la escala de Borg, la cual se muestra en la tabla 2, (Sarma, et. al., 2018).

Tabla 2.

Escala de Borg simplificada; modificada por Borg

Valor	Descripción
0	Esfuerzo nulo
1	Esfuerzo muy ligero
2	Esfuerzo ligero
3	Esfuerzo moderado
4	Esfuerzo ligeramente alto
5	Esfuerzo alto
6	
7	Esfuerzo muy alto
8	
9	
10	Esfuerzo máximo

En la escala de Borg, el 0 es la menor intensidad de esfuerzo mientras que el 10 es el esfuerzo máximo posible. (Calderón, 2007).

- *Protocolo de Naughton.* Protocolo diseñado para prueba de esfuerzo en pacientes de alto riesgo coronario y baja capacidad funcional, como niños, personas en des acondicionamiento físico y ancianos. Es incremental escalonado y continuo, consiste

en etapas de trabajo de dos minutos cada una y con velocidad fija de 3.2 km / h; la pendiente de la banda sin fin se aumenta en cada etapa al 3.5%, (López, et. al., 2006).

1.2.1.4 Adaptaciones al entrenamiento aeróbico. Se considera entrenamiento a la práctica constante de ejercicio, el cual produce adaptaciones fisiológicas generales en el organismo. Estas adaptaciones, varían según por cada uno de los sistemas del organismo y permiten que se secreten hormonas, mediadores químicos, que exista un aumento de señales nerviosas o que se promueva la reproducción celular, (Haff, et. al., 2017).

1.2.1.4.1 Adaptaciones Cardiovasculares. Durante el ejercicio, el corazón debe satisfacer la necesidad de oxígeno requerido por la célula muscular, retirar los productos metabólicos innecesarios y cooperar con la termorregulación del cuerpo; al satisfacer estas necesidades, la acción del corazón se resume en aumento del gasto cardíaco, es decir, aumento del volumen de sangre eyectada por el ventrículo izquierdo en un minuto. La práctica constante del ejercicio permite que el corazón se adapte a la, cada vez mayor, necesidad de oxígeno en los tejidos musculares, lo cual permite que el corazón crezca de forma fisiológica, proceso denominado hipertrofia cardíaca fisiológica, mediante el cual se produce un aumento de fibras musculares, esto mejora el aporte sanguíneo hacia los órganos y la fuerza de contracción es mayor lo que permite satisfacer las exigencias velozmente, (Vega, et. al., 2017).

Las adaptaciones del sistema cardiovascular están mediadas por 3 mecanismos:

- *Mecanismo nervioso.* La planificación del movimiento, que ocurre en la corteza cerebral, inicia la respuesta anticipatoria, mediante la cual el cuerpo se prepara para el ejercicio a realizar, aumenta ligeramente la frecuencia cardíaca y esta señal se envía hacia el bulbo raquídeo, lo cual activa al sistema nervioso simpático, (López, et. al., 2006). Mediante la activación simpática se produce un aumento de la frecuencia

cardíaca y la contractibilidad del músculo cardíaco, lo cual conlleva al aumento del volumen de sangre bombeado por el corazón y aumento de la tensión arterial para permitir que el flujo sanguíneo llegue a músculos activos y a músculos y órganos en reposo, (van Paridon, et. al., 2017).

- *Mecanismos hormonales.* Los mecanismos hormonales están relacionados con la respuesta emocional ante el ejercicio y la preparación mental. Para mantener el equilibrio en el organismo se liberan hormonas vasodilatadoras, tales como la histamina, que permiten que los vasos sanguíneos se distiendan y permitan el paso de mayor flujo sanguíneo. Además, se producen hormonas que regulan la excreción de agua corporal como el Péptido Natriurético Auricular [PNA] que disminuye la producción de orina en el organismo y permite que la mayor cantidad de agua sea absorbida o excretada en sudor, (Schüttler, et. al., 2019).
- *Mecanismo hidrodinámico.* Mecanismo en el cual la sangre bombeada realiza su retorno hacia el corazón; mediante valvas musculares que, al contraer el músculo, bombean la sangre de regreso al corazón, ilustrado en Figura 12; la secreción de catecolaminas que produce constricción venosa e impulsa la sangre más rápidamente hacia el corazón y la bomba de aspiración torácica, donde se produce un aumento de la presión negativa torácica y se produce el efecto de aspiración en la vena cava inferior, que contribuye al retorno venoso, (López, et. al., 2006).

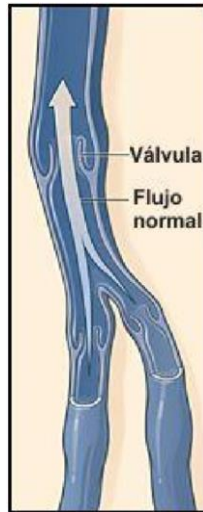


Figura 12. Válvulas de retorno venoso en músculos. (Abreu, 2011).

1.2.1.4.2 Adaptaciones Pulmonares. Los cambios respiratorios y pulmonares ocurren de forma rápida; el aumento del metabolismo muscular produce aumento de saturación de dióxido de carbono en las venas y se requiere mayor intercambio gaseoso en la membrana alveolocapilar, éste aumento ocurre a partir de la primera o segunda respiración. Se produce aumento de secreción de epinefrina, que se encarga de aumentar la tensión arterial y dilatar los bronquios para aumentar el paso del aire a través de ellos. La ventilación alveolar, que es el aire que alcanza los alveolos para el intercambio gaseoso, aumenta de 10-20 veces en ejercicio de alta intensidad para poder captar más oxígeno y excretar más dióxido de carbono, (Kisner, et. al., 2007).

La frecuencia respiratoria aumenta debido al requerimiento de intercambio gaseoso y con ellos aumenta el volumen corriente, que es el volumen de aire que ingresa y egresa de los pulmones durante una respiración. Para cumplir con estos requerimientos se activan los músculos respiratorios, principalmente el diafragma y los intercostales mostrados en la Figura 13 que, mediante el entrenamiento continuo, aumentan en fuerza y resistencia lo cual mejora el intercambio gaseoso aún en reposo, (Tiller, 2019).

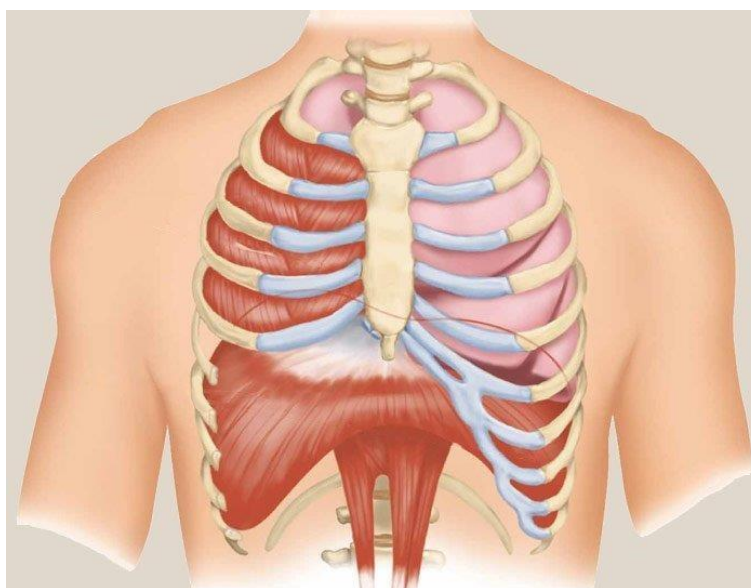


Figura 13. Músculos respiratorios principales: Intercostales y diafragma. (Takeshi, 2018).

1.2.1.4.3 Adaptaciones Neuromusculares. La capacidad de contracción del músculo depende tanto de su fuerza y resistencia como del reclutamiento por activación del sistema nervioso. El sistema nervioso envía señales en forma de potenciales de acción a los músculos que necesitan ser activados para permitir el movimiento, sin embargo, mientras mayor sea el requerimiento de activación muscular, más señales de activación debe enviar el sistema nervioso para activar más fibras musculares en menor tiempo, (Downie, 2001).

La adaptación principal de los músculos es el aumento de fuerza; éste se produce debido a la hipertrofia, el aumento de fibras musculares, que puede darse de forma temporal durante el ejercicio o de forma permanente como adaptación al entrenamiento constante. Cuando la fuerza requerida es mayor se produce hiperplasia, aumento del número de fibras musculares, con lo cual incrementa la vascularización y, por consiguiente, la nutrición y oxigenación del músculo. El entrenamiento de la fuerza muscular produce mayor hipertrofia de los músculos

en general, mientras que el entrenamiento de resistencia muscular produce hipertrofia selectiva para aumentar las fibras tipo I, de activación y fatiga lentas, (Wilmore, et. al., 2007).

La regulación hormonal juega un papel importante en la adaptación neuromuscular. En hombres, la producción adecuada de testosterona permite que el músculo crezca en tamaño, mejore su fuerza y potencia; el ejercicio, de forma inmediata, aumenta los niveles de secreción de testosterona y contribuye a la mejora de estas capacidades. En mujeres, la testosterona produce el mismo efecto tras el entrenamiento de resistencia, sin embargo, la concentración de testosterona y los resultados son menores, (Cano, et. al., 2016).

1.2.1.4.4 Adaptaciones Metabólicas. Las adaptaciones metabólicas se dan principalmente en los músculos y en el sistema cardiopulmonar. Para satisfacer el aumentado requerimiento energético y nutricional de los músculos se produce una cadena de acciones. El aporte capilar aumenta de 10-15% y como consecuencia aumenta la hemoglobina, la cual guarda el oxígeno y lo libera en las mitocondrias cuando escasea durante la acción muscular; con el entrenamiento prolongado aumenta la cantidad de mitocondrias y su tamaño, lo cual implica un aumento de enzimas oxidativas que permiten mayor producción de ATP y se comienza la producción energética a base de ácidos grasos almacenados en las células, ya que la glucosa en sangre y el glucógeno no satisfacen la necesidad durante el ejercicio, (Wilmore, et. al, 2007).

La práctica de ejercicio produce adaptaciones metabólicas en el proceso de remodelación ósea donde las señales mecánicas producidas por el ejercicio sobre los huesos estimulan la actividad de los osteoclastos para reabsorber y eliminar el tejido antiguo, así como sintetizar tejido nuevo, los osteoblastos para reparar los daños en los huesos y permitir la maduración de células óseas, como lo muestra la Figura 14, (Dolan, et. al., 2020).

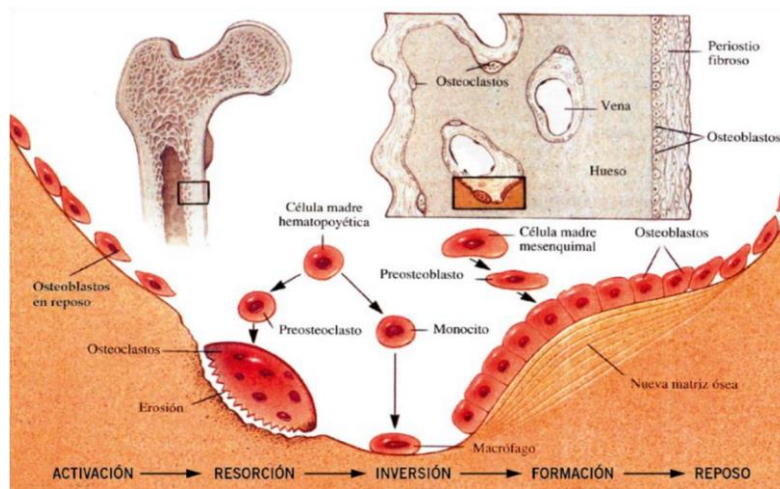


Figura 14. Resumen del proceso de remodelación ósea. (Carrascosa, et. al., 2000).

1.2.1.4.5 Adaptaciones Hematológicas. El ejercicio físico aumenta la temperatura corporal, lo que produce el aumento del volumen plasmático y volumen eritrocitario; por consecuencia aumenta la hemoglobina circundante; con la constancia del entrenamiento, el volumen de eritrocitos aumenta en la sangre aún en estado de reposo, mientras que el volumen plasmático aumenta inmediatamente durante el ejercicio, (Wilmore, et. al., 2007).

Según la intensidad y duración del ejercicio, se puede producir un aumento de glóbulos blancos circundantes [leucocitosis] en proporción directa, a mayor intensidad, mayor producción de leucocitos. Se produce un efecto similar a la inflamación aguda debido a la liberación del factor de necrosis tumoral [TNF] e interleucina [IL-6] por acción química de la histamina; ésta inflamación puede deberse a la ruptura de fibras musculares durante el ejercicio, lo cual estimula la hipertrofia, (Green, et. al., 2017).

Debido a la supresión de linfocitos B, las inmunoglobulinas disminuyen; el recuento y tamaño plaquetario periférico aumenta, debido a la liberación de plaquetas provenientes del bazo o de la médula ósea. La tasa de eritropoyetina se eleva y esto permite que los glóbulos

rojos circulen en mayor cantidad al igual que la hemoglobina pero, debido a que el hierro es un componente esencial en la producción de hemoglobina, las reservas del mismo en el cuerpo se consumen, lo cual, en atletas de alto rendimiento, se conoce como anemia deportista o anemia ferropénica; esto trae como consecuencia la disminución de aporte de oxígeno a tejidos que lo requieren y se produce hipoxia y espasmos musculares, ilustrado en la Figura 15, (Coates, et. al., 2017).

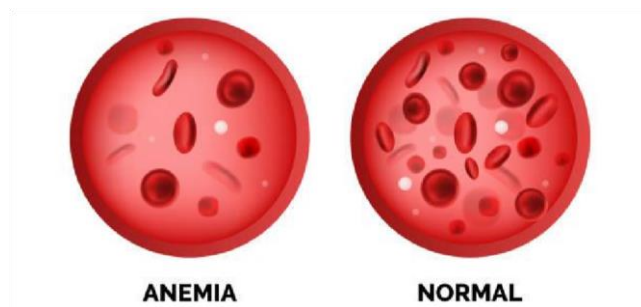


Figura 15. Representación gráfica de la anemia en corte transversal del vaso sanguíneo en comparación a un vaso sano. (Buzaeva, 2018).

1.2.1.4.6 Adaptaciones Endocrinas. El sistema endocrino es el encargado de secretar hormonas para mantener el equilibrio fisiológico y emocional en el organismo; durante el ejercicio, éstas se encuentran dedicadas a la regulación muscular durante el entrenamiento y sensación de competencia en el deporte. La secreción correcta de hormonas está ligada a la intensidad del ejercicio, con lo cual puede activarse el componente anabólico y permitir la regeneración del músculo o el componente catabólico, principalmente en ejercicio excesivo, lo cual puede causar lesiones; también se encuentra ligada a la nutrición del paciente, (Eliakim, 2016).

La secreción de hormonas comienza antes de iniciar la actividad física, el sistema nervioso simpático estimula la función endocrina regulada por las glándulas adrenales. La secreción de catecolaminas permite el aumento de la adrenalina, que produce aumento de la actividad simpática en el músculo y estimula su potencia, y noradrenalina en respuesta a la necesidad homeostática del organismo. Las glándulas secretoras, sobre todo la glándula suprarrenal, aumentan su resistencia ante el entrenamiento y permiten realizar cambios veloces entre el sistema energético utilizado, el proceso se resume en la Figura 16, (Duclos, et. al., 2016).

La liberación de hormonas se da como respuesta al estrés fisiológico durante el ejercicio y estimulan la producción de proteínas contráctiles. Las hormonas anabólicas bloquean las hormonas catabólicas, tales como el cortisol o la progesterona que degradan las proteínas celulares. Las hormonas esteroideas se producen en la corteza suprarrenal para crear proteínas específicas que el cuerpo requiere durante el ejercicio; las hormonas polipeptídicas actúan como mensajeros químicos, tal como la insulina que permite la absorción de glucosa sanguínea hacia la célula para producir energía; y las proteínas amínicas estimulan la secreción de noradrenalina, adrenalina y dopamina, encargadas del componente emocional y potencia muscular, (Haff, et. al., 2017).

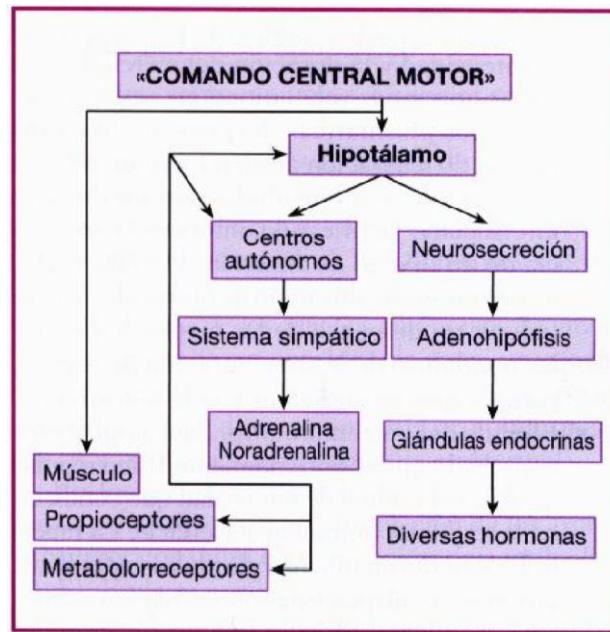


Figura 16. Mecanismo de estimulación de la función endocrina durante el ejercicio; donde *comando central motor es la corteza motora. (López, et. al., 2006).*

Las glándulas secretoras aumentan su capacidad de transportar hormonas a través de proteínas, aumentan su capacidad de sintetizar y almacenar hormonas, mejoran la secreción de hormonas de forma regulada, como el cortisol, aún en reposo, mejoran la velocidad de recepción de señales del sistema nervioso ante el estímulo del sistema nervioso simpático y aumentan el número de receptores en los tejidos, lo que permite que el proceso hormonal sea cada vez más eficiente con el entrenamiento físico. La velocidad de adaptación del sistema endocrino depende de la posición del cuerpo durante el ejercicio, el tipo de ejercicio realizado, la disponibilidad de oxígeno y glucosa, el sexo y, en el caso de las mujeres, el período menstrual; esto hace que algunas mujeres experimenten amenorrea mientras que otras no durante el ejercicio intenso, (Duclos, et. al., 2016).

1.2.1.5 Indicaciones, precauciones y contraindicaciones. El ejercicio aeróbico trae grandes beneficios al organismo, pero debe tomarse en cuenta la correcta evaluación del

paciente para evitar efectos nocivos causados por alguna respuesta del organismo ante el ejercicio; sin embargo, existen ciertas recomendaciones generales, (Fernández, et. al., 2013).

1.2.1.5.1 Indicaciones. El ejercicio aeróbico se encuentra indicado en la mayoría de los casos debido a los beneficios que la oxigenación corporal provee; en situaciones postoperatorias, principalmente de afecciones cardíacas o respiratorias, parálisis y atrofia muscular, afecciones reumáticas, rehabilitación post traumática, contracturas musculares, discopatías, rehabilitación respiratoria, acondicionamiento posterior a inmovilización, dolor con causa conocida, diabetes, rigidez muscular y articular, hemiplejía, parálisis cerebral y enfermedad vascular periférica son indicaciones generales, (Fernández, et. al., 2013).

Por el incremento que produce en la liberación de endorfinas, el ejercicio aeróbico está indicado en procesos psicológicos normales o patológicos tales como estrés, ansiedad, depresión e insomnio como método de recreación y acompañamiento a la terapia del profesional en salud mental, (Haff, et. al., 2017).

1.2.1.5.2 Contraindicaciones. Existen procesos patológicos y dañinos en el organismo que se ven más afectados por el ejercicio que beneficiados; procesos inflamatorios agudos, pues en estos ya existe un aumento del riesgo sanguíneo controlado, dolor no diagnosticado, miocardiopatías descompensadas, fiebre, por su asociación a procesos infecciosos, embarazos riesgosos, procesos oncológicos no tratados o en metástasis, fracturas en curso, (Viña, et. al., 2016).

1.2.1.5.3 Precauciones. Las precauciones son consideradas contraindicaciones relativas ya que se debe tomar en cuenta la intensidad, duración, propósito del ejercicio e historial y condición del paciente. Algunas precauciones a tomar en cuenta son anquilosis articular, se

debe tomar en cuenta la articulación, ejercicio de alta intensidad en embarazos mayores de 3 meses, aumento del nivel de glucosa durante el ejercicio en pacientes diabéticos e hipertensión arterial con control farmacológico, (Bernal, 2018).

Algunas precauciones se dan por grupos etarios como en la etapa geriátrica, ya que estas personas son más propensas a enfermedades crónicas avanzadas. Se debe tomar en cuenta la capacidad visual, auditiva, la comprensión cognitiva, historial clínico de problemas cardíacos, respiratorios y medicamentos en curso, (Viña, et. al., 2016).

Capítulo II

Planteamiento del Problema

En este capítulo se plantea una breve descripción del cáncer y sus efectos en el organismo de los pacientes pediátricos, la forma en que la enfermedad en sí misma causa atraso y deterioro del desarrollo social, cognitivo y físico de los pacientes además de causar la pérdida de facultades ya adquiridas. Se describe asimismo la forma en que no solo la enfermedad en sí misma tiene consecuencias sino cómo los tratamientos producen mayores secuelas en las que se beneficia el tratamiento de la enfermedad, pero se obtienen resultados negativos en distintos ámbitos de la vida. Finalmente, se describen los objetivos de esta investigación documental orientados a los efectos fisiológicos logrados mediante el uso de ejercicio aeróbico de baja intensidad.

2.1 Planteamiento del Problema

Debido a que el cáncer es un crecimiento anormal de las células inhibiendo o alterando su función, muchos niños que adquieren esta enfermedad sufren, no solamente los efectos de la enfermedad misma, sino los efectos de los tratamientos altamente agresivos utilizados para su cura. Algunas capacidades físicas no se logran recuperar al terminar el tratamiento y esto afecta al desarrollo normal de los niños quienes se encuentran en crecimiento. Para un niño es

más difícil lidiar con los síntomas que produce el cáncer debido a la debilidad generalizada que producen los tratamientos químicos o radiológicos ya que esto les impide desarrollar su vida con naturalidad mediante el juego y la socialización con otros niños. Además del entorno social que sus propios familiares pueden crearles para protegerlos, los niños suelen tener estados de ánimo fluctuantes durante el tratamiento lo cual coopera con la pérdida de sus facultades, (Tutelman, et al., 2017).

La incidencia del cáncer infantil en Guatemala es de 7.8 casos por cada 100 mil menores de 15 años y la tasa de mortalidad es de 3.1 por cada 100 mil menores de 15 años con un reporte de sobrevivencia del 67%, Centro América reporta supervivencia del 64%, (Cuadrado, et al., 2017).

Cuando estas condiciones no se cumplen, el cáncer es la primera causa de muerte infantil en enfermedades crónicas. El alto índice de supervivencia motiva a las investigaciones para mejorar la calidad de vida de los pacientes durante el tratamiento para una recuperación más eficaz al momento de concluir con el mismo y para permitirle al paciente un mejor desarrollo a pesar del tiempo que viva con la enfermedad, (Cuadrado, et al., 2017).

Los niños con cáncer suelen tener muchos periodos de tiempo sin actividad física por su estadía en el hospital en comparación con niños que no cuentan con esta patología, esto provoca un retraso en el desarrollo de sus habilidades motoras, cardiovasculares, entre otras que se ven relacionadas con el beneficio de la actividad física o el ejercicio de baja intensidad. Estos niveles bajos de actividad física pueden conducir a problemas de salud secundarios durante y después del tratamiento del cáncer. Incrementar la actividad y el entrenamiento físicos, incluso durante el tratamiento, es factible, beneficioso y seguro. Para una mejor participación, las intervenciones también deben ser divertidas, flexibles para permitir la adaptación individual y factibles tanto en el hospital como en el hogar. El punto de partida de

este estudio fue la necesidad de activar a los niños con cáncer de una manera divertida, entretenida y eficaz, (Huang, 2011).

Existe una creciente evidencia de los efectos positivos del entrenamiento físico sobre la función de los diferentes sistemas, la fatiga y el bienestar físico en los niños durante y después del tratamiento contra el cáncer; una investigación evaluó las asociaciones entre factores demográficos y médicos y la calidad de vida relacionada con la salud [CVRS] entre los supervivientes de cáncer pediátrico encontraron que la fatiga era el predictor más poderoso del estado funcional y la CVRS. Dado que hay pruebas de que los programas de ejercicio y actividad física pueden reducir la fatiga y mejorar la salud psicosocial en los supervivientes de cáncer en adultos, estas intervenciones pueden tener un efecto similar en la población pediátrica, (Huang, 2011, citando a Meeske et al., 2010).

Por lo planteado anteriormente se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad para permitir un desarrollo adecuado en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso?

2.2 Justificación

Todos los tipos de cáncer, incluyendo los que se dan en la infancia, tienen un proceso patológico común: las células cancerosas crecen de forma descontrolada, adquieren tamaños y morfologías anómalas, ignoran sus límites habituales en el interior del cuerpo, destruyen células vecinas y, al final, se acaban extendiendo a otros órganos y tejidos [lo que se conoce como metástasis]. Conforme las células cancerosas van creciendo, consumen cada vez más nutrientes del cuerpo, (Hamari, et al., 2019).

El cáncer consume la energía del niño que lo padece, destruye órganos y/o huesos y debilita las defensas del organismo contra otras enfermedades, en la mayoría de los casos, los cánceres infantiles se desarrollan a raíz de mutaciones [o cambios] no heredadas en los genes de unas células que todavía están en proceso de crecimiento. Puesto que estos errores ocurren al azar o de forma impredecible, no hay ninguna forma eficaz de prevenirlos, (Hamari, et al., 2019).

El campo de trabajo con la evidencia científica recopilada para pacientes de cáncer pediátrico abarca gran porcentaje de la población de América Latina contando con 40,000 casos nuevos anuales en menores de 19 años en Centro América y específicamente en Guatemala con 7.8 casos por cada 100,000 menores de 15 años, (Cuadrado, et al., 2017).

Se puede impactar a la población más vulnerable de esta región y permitir que su calidad de vida futura no disminuya, así como proveerles el espacio y herramientas para un desarrollo físico, social y emocional correcto, (Cuadrado, et al., 2017).

El tratamiento del cáncer en los niños puede incluir la quimioterapia, la radioterapia y la cirugía. El programa de tratamiento necesario en cada caso dependerá del tipo de cáncer, así como de su agresividad, lo extendido que esté y la edad del niño, (Hamari, et al., 2019).

La fisioterapia oncológica es una especialidad que tiene como objetivo preservar, mantener, desarrollar y restaurar sistemas cinético-funcionales, así como prevenir, mejorar y tratar las secuelas derivadas del proceso oncológico, (Hamari, et al., 2019).

Forma parte del equipo multi e interdisciplinar de atención al paciente con cáncer. El ejercicio terapéutico resulta un arma indispensable para el tratamiento del dolor y la fatiga, aunque resulte paradójico. También se emplean técnicas para el tratamiento del suelo pélvico con ejercicios y tratamiento intracavitario, técnicas de fisioterapia respiratoria, drenaje

linfático manual, técnicas de fisioterapia neurológica, masoterapia específica para enfermos oncológicos, digitopresión, neurodinámica y técnicas miofasciales, (Hamari, et al., 2019).

Los ejercicios aeróbicos de baja intensidad han sido empleados en casos de cáncer infantil como una técnica de rehabilitación posterior al tratamiento o como método para recuperación de la funcionalidad perdida a causa del cáncer. Esta técnica puede ser utilizada ya sea durante el proceso de cáncer o en el período de recuperación del mismo, (Huang, 2011).

Sin embargo, pocos estudios han mostrado la evidencia científica respecto al uso de ejercicios aeróbicos de baja intensidad en un proceso cancerígeno y con tratamiento químico o radiológico en curso siendo estos tratamientos los principales causantes de deficiencias funcionales. Muchas facultades físicas podrían mantenerse e incluso mejorarse si se utilizara el ejercicio aeróbico de baja intensidad, como será descrito en este trabajo, acompañando al paciente con tratamiento en curso, (Huang, 2011).

Por lo anteriormente expuesto este trabajo pretende mostrar mediante una revisión bibliográfica los efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad para permitir un desarrollo adecuado en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso.

Este trabajo de investigación es posible porque existe información suficiente acerca del cáncer infantil y sus efectos. Del mismo modo, hay evidencia científica de un tratamiento empleando ejercicio aeróbico de baja intensidad. Finalmente, se cuenta con asesoría de externos.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general. Mostrar mediante una revisión bibliográfica los efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad para permitir un desarrollo adecuado en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso.

2.3.2 Objetivos específicos.

- Explicar según la evidencia científica actual las deficiencias físicas causadas por el cáncer y su tratamiento para reconocer el déficit de desarrollo ocasionado por lo mismo en pacientes pediátricos.
- Identificar en la literatura científica los beneficios del ejercicio aeróbico de bajo impacto durante el tratamiento de cáncer para la mejora de capacidades cardiopulmonares, musculares y funcionales de los pacientes pediátricos.
- Registrar mediante la revisión de artículos la dosificación de las distintas formas de ejercicio aeróbico de baja intensidad que pueden ser aplicadas en pacientes pediátricos oncológicos durante el tratamiento de cáncer para la mejora en la calidad de vida.

Capítulo III

Marco metodológico

En este capítulo se presenta el desarrollo metodológico que se realizó en este trabajo de investigación y se describen los distintos materiales y métodos que se utilizaron, así como también el enfoque, el tipo de estudio y el diseño de la investigación. De igual manera se presentan las variables que enfocaron la búsqueda de información.

3.1 Materiales

Indican de qué forma fue realizada la investigación y de esta manera evalúan la calidad de los resultados. Así mismo, ayudan a entender la continuidad entre el planteamiento de los objetivos y los resultados.

En esta investigación se utilizaron libros y artículos relacionados con el cáncer infantil y el ejercicio aeróbico de baja intensidad, los cuales fueron obtenidos de las siguientes bases de datos: PubMed, Elsevier, Scielo y páginas oficiales.

Tabla 3.

Fuentes utilizadas.

Fuente	Cantidad
Artículos científicos	72
Libros	18
Ensayos científicos	4
Total	94

Elaboración propia.

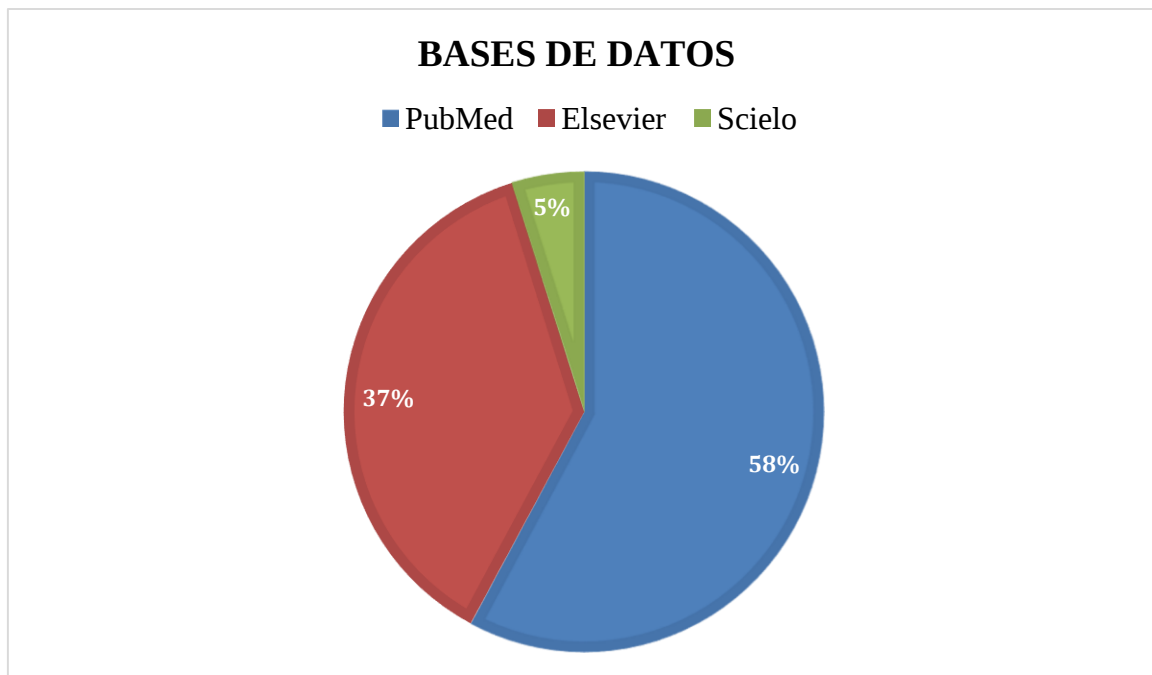


Figura 17. Gráfica de las bases de datos utilizadas en la investigación (Elaboración propia).

3.2 Métodos

3.2.1 Enfoque de la investigación. Para efectos de esta investigación se utilizó el enfoque cualitativo. Este enfoque evalúa el desarrollo natural de los sucesos, sin manipulación de la realidad, (Hernández, et. al., 2004).

Es un método de investigación cuyo enfoque es estudiar el tema seleccionado mediante la recopilación suficiente de información para llegar a una conclusión, más que comprobar una

hipótesis. Los fenómenos son estudiados mediante observación no estructurada sin manipulación de datos, entornos o variables, (Denzin, et. al., 2013).

Se recopila y evalúa evidencia científica acerca de los efectos que los tratamientos de quimioterapia y radioterapia para cáncer producen en niños en los aspectos físico, emocional, social y psicológico y las diversas formas en que se dan estos efectos en cada individuo. Además, se muestra como los ejercicios aeróbicos de baja intensidad influyen en estos efectos, ya sea para reducir o mitigarlos, y los efectos fisiológicos que pueden llegar a producir desde la mejora tras cada sesión hasta la recuperación integral del paciente.

3.2.2 Tipo de estudio. Para fines de esta investigación, se consideró que el estudio es de tipo descriptivo. Este es un plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación y responder al planteamiento inicial, por medio del cual se someten las variables a análisis, (Hernández, 2014).

Se busca mostrar todos los síntomas que logran afectar y causar algún tipo de secuela a los pacientes pediátricos con cáncer, pero sobre todo poder describir e integrar los beneficios del ejercicio aeróbico encontrados en este estudio logrando así una intervención eficaz y adecuada para cada caso.

3.2.3 Método de estudio. En esta investigación se utilizó el método teórico analítico.

Método mediante el cual se descompone un todo global en sus partes más mínimas y específicas para observar, desde esta perspectiva, las causas y efectos; el análisis final consiste en observar y examinar solamente un hecho en particular. Su uso es importante en el proceso de creación de hipótesis, (Argimon, et. al., 2013).

Se pretende realizar un análisis de la información encontrada acerca de los efectos y beneficios del ejercicio aeróbico para un manejo terapéutico, mejorar funcionalidad y calidad de vida de los pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer en curso.

3.2.4 Diseño de investigación. Debido a que este estudio consiste en una revisión bibliográfica en el cual no hay manipulación de variables, la investigación presenta un diseño no experimental con corte transversal.

Diseño en el cual se hace únicamente observación y análisis del sujeto de estudio, su ambiente y su contexto sin modificarlo o manipularlo para lograr un efecto deseado. Éste diseño recopila información de un espacio de tiempo determinado, no toma en cuenta que sucedió antes o que podría suceder después de la investigación sino lo que sucede durante la investigación; pueden variar los grupos etarios, géneros y características de los sujetos de estudio mientras convivan en una misma época. Se busca únicamente describir la situación tal como se observa y plasmar los resultados obtenidos sin exclusión mientras se relacionan el conjunto de variables entre sí, (Hernández et. al., 2014).

Los sujetos de estudio son niños, de ambos géneros, de 0-15 años con tratamiento de cáncer en curso, independientemente de cuáles sean los signos, síntomas o efectos de tratamiento que presenten. Se describe la forma en que los ejercicios aeróbicos de baja intensidad actúan sobre el organismo produciendo resultados beneficiosos o desfavorables para la salud integral de los pacientes y la forma en la que éstos reaccionan al mismo. Esta investigación recopila datos en un tiempo específico de junio a diciembre de 2021.

3.2.5 Criterios de selección. Para obtener la información de esta investigación se utilizaron los siguientes criterios de selección.

Tabla 4.

Criterios de selección.

Inclusión	Exclusión
• Artículos con antigüedad no mayor a 10 años. • Información proveniente de libros o revistas científicas confiables. • Artículos científicos que hablen sobre el cáncer pediátrico. • Artículos científicos que describan los efectos del ejercicio aeróbico en pacientes con cáncer. • Artículos con información sobre tratamiento realizado en humanos.	• Artículos con antigüedad mayor a 10 años. • Información proveniente de páginas web y sitios no oficiales. • Artículos sobre otras patologías infantiles fuera del cáncer. • Artículos científicos que describan los efectos de otros tipos de ejercicio en pacientes con cáncer. Artículos con información sobre tratamientos realizados en animales. •

Elaboración propia.

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Variables. La investigación se realizó con base en las siguientes variables:

1. Variable independiente: Ejercicio aeróbico de baja intensidad.
2. Variable dependiente: Cáncer infantil.

3.3.1.1 Variable. Propiedad o dimensión de un fenómeno que cuenta con la capacidad de variar su valor, de forma cualitativa o cuantitativa y ésta puede ser medida, observada para su estudio y aplicada a objetos, seres vivos y situaciones como parte de una hipótesis de investigación, (Gómez, 2012).

3.3.1.2 Variable independiente. Son todas las posibles causas del fenómeno en estudio, obtienen su nombre debido a que no son modificables en función de ningún parámetro o variable; se presentan como las condiciones de la variable dependiente y permiten que el valor de estas cambie, (Argimon, et. al., 2013).

3.3.1.3 Variable dependiente. Es el posible efecto, observado y medido, producido por la variable que se considera independiente; es el factor que puede variar, desaparecer, aumentar o disminuir de acuerdo con la variable independiente, sin producir un cambio en ésta, en la comprobación de una hipótesis de investigación, (Denzin, et. al., 2013).

Tabla 5.

Operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Independiente	El ejercicio aeróbico de baja intensidad es aquel que supone un aumento significativo en el gasto cardíaco, energético y en la frecuencia respiratoria sin llevar al máximo el esfuerzo realizado. El ejercicio dirigido realizado por un par de semanas durante el tratamiento se asocia con una mejora en los aspectos psicológicos, fisiológicos y físicos, destacando el potencial efecto positivo de este tipo de intervención. Algunos estudios muestran que los ejercicios realizados en el hospital o en el hogar tienen como resultado beneficios para la fuerza muscular, el estado físico y la	El ejercicio terapéutico ayuda en el cáncer para disminuir la sensación de fatiga, pero sobre todo puede influir a que los pacientes puedan tener cuidado y mantenimiento funcional por el tiempo que están en los hospitales y en cama debido al tratamiento de la patología que puede provocar secuelas funcionales que limitan su funcionalidad post tratamiento de cáncer.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
	capacidad funcional, (Santos, et. al., 2020).	
Dependiente	El cáncer pediátrico se define como crecimiento anormal de las células alterando su función y desarrollo caracterizado comúnmente por tener una presentación de predominancia tisular, los casos son detectados generalmente de forma accidental, dado que los signos y síntomas son tan comunes que pueden confundirse con otras enfermedades; sin embargo, los tumores diagnosticados en la infancia tienen mejor pronóstico, responden y toleran mejor el tratamiento y se logra una mayor supervivencia comparados con los tumores en adultos, (Gómez et. al., 2020).	El cáncer en pacientes pediátricos, así como sus tratamientos, causa deficiencias físicas, mentales, psicológicas y sociales que son importantes para el correcto desarrollo del organismo; por ello la práctica de ejercicios aeróbicos de baja intensidad brindan mejoría en el estado de ánimo del paciente, aumento de la capacidad inspiratoria y exhaladora que produce una mejor oxigenación tisular y mejor desempeño de los órganos vitales y músculos.

Elaboración propia.

Capítulo IV

Resultados

En este capítulo se plasman los resultados encontrados para cada objetivo con base a artículos científicos. Se resalta una discusión donde se analizan los objetivos y si estos fueron alcanzados. Se muestran conclusiones que resumen los datos más importantes de la investigación y como último se plantean perspectivas de la tesis.

4.1 Resultados

Objetivo 1. Deficiencias físicas causadas por el cáncer y su tratamiento para reconocer el déficit de desarrollo ocasionado por lo mismo en pacientes pediátricos.

Autor	Rodríguez & Galván, 2014.
Título	Efectos de la quimioterapia en el sistema musculoesquelético de niños y adolescentes con leucemia linfoblástica aguda.
Estudio	El objetivo de la revisión bibliográfica fue recolectar evidencia sobre los efectos musculoesqueléticos de la quimioterapia en niños con Leucemia Linfoblástica Aguda [LLA].

Los datos recolectados incluían una muestra total de 5192 niños con LLA en edades de 6-10 años, 51% género masculino y 49% género femenino; durante y posterior al tratamiento quimioterapéutico simple o combinado.

Las medidas primarias utilizadas para analizar los datos fueron cuestionarios subjetivos de evaluación al paciente respecto a dolencias percibidas, puntuación de dolor, radiografías para verificar la integridad ósea y resonancia magnética en caso de sospecha de osteonecrosis; además, se incluyeron estudios de talla y peso para valorar los cambios en cuanto a sobrepeso ocasionado por el tratamiento.

Resultados De los estudios recolectados, se encontró que el 70% de los niños sufrían problemas relacionados con el sistema óseo. En un estudio de 108 pacientes se encontró que el 51% reportó quejas musculoesqueléticas y 87% reportó cuadro febril asociado al tratamiento. Otro estudio de 61 pacientes demostró que el 62% reportó dolor en rodillas y codos y el 39% reportó dificultad para caminar. En un estudio con 33 pacientes, el 60% reportó osteonecrosis bilateral de rodilla, mayormente en las edades de 5-10 años, la intensidad de tratamiento y el género femenino son factores que aumentan esta condición. En un estudio de 120 participantes, de los cuales el 14% comenzó quimioterapia con sobrepeso, se evidenció que esta cifra fue triplicada al terminar el proceso con 42% de los participantes con sobrepeso. En un estudio de 498 participantes, el 35% evidenció dolor neuropático.

En los estudios se evidenció claramente la asociación del uso de corticoides a la reducción de densidad mineral ósea, osteoporosis, debilidad muscular y miopatías como efectos secundarios que pueden permanecer durante el tratamiento o generar secuelas posteriores a terminado el tratamiento; éstas alteraciones suelen generar dependencia funcional, incomodidad, alteración social, escolar y alteración en los roles familiares lo cual compromete la calidad de vida del niño.

Autor Silva, Leite, Alvarenga, Nunes, & Nascimento, 2021.

Título	Manejo de los síntomas relacionados a la quimioterapia en niños y adolescentes: perspectivas de los cuidadores.
Estudio	El objetivo del estudio descriptivo con análisis de datos cualitativos fue evidenciar los síntomas del cáncer y sus tratamientos descritos por cuidadores familiares de pacientes con cáncer infantil. Se entrevistó a 18 cuidadoras, todas de género femenino y rango de edades de 20 a 60 años, de pacientes niños y adolescentes de 1 a 15 años que ya han terminado su primer ciclo de quimioterapia. La edad media de los pacientes fue de 8.5 años y la mayoría, un 22.2%, con tumores sólidos seguido de 16.7% con rabdomiosarcoma. Las medidas utilizadas fueron la entrevista, con una duración de 37 minutos de forma individual con cada cuidadora o acompañadas del paciente a su cargo; fue realizada por 2 enfermeras y 2 estudiantes de enfermería y su principal objetivo era responder la pregunta global “¿Cómo son descritos los síntomas del cáncer y sus tratamientos por los cuidadores?” así como verificar las estrategias utilizadas para su manejo.
Resultado	Al analizar las respuestas provistas por las cuidadoras, el síntoma clínico más mencionado, percibido por un 82% de los pacientes, fue el dolor, sobre todo en zona lumbar o espalda baja, dolor de cabeza y artralgia general. La presencia de debilidad muscular y astenia está presente en muchos de los pacientes y suele ir acompañada de náuseas o vómitos, lo cual provoca menor o nula motivación para realizar actividades cotidianas e induce al sedentarismo. Las cuidadoras, además, mencionaron haber observado alteraciones dermatológicas tales como resequedad y apariencia de pérdida de vida en la piel, así como alteraciones psicosociales derivadas de estos síntomas. Los síntomas identificados por las cuidadoras están directamente asociados a la quimioterapia y ocasionan que se deban utilizar otros métodos, farmacológicos o terapéuticos, para aliviar dichos síntomas, los cuales

pueden provocar sus propios efectos secundarios y disminuir el estado de ánimo del paciente, lo cual no contribuye a la pronta recuperación de estos.

Autor	Ward, et. al., 2018.
Título	Morbilidad Ósea y Recuperación en Niños con Leucemia Linfoblástica Aguda: Resultados de un Estudio de Cohorte Prospectivo de Seis Años.
Estudio	El objetivo de este estudio de cohortes fue evidenciar las morbilidades óseas causadas por la LLA y su tratamiento con quimioterapia en niños y adolescentes. Inicialmente, se reclutaron al estudio 186 participantes, 78 niñas y 108 niños, de 10 hospitales de Canadá en los años 2005-2007. El estudio tuvo una duración total de 6 años, las evaluaciones fueron realizadas a los 30 días de iniciado el tratamiento de quimioterapia y a los 6 años de haberla iniciado. Las evaluaciones utilizadas fueron medir la densidad mineral ósea de la columna lumbar mediante rayos X de energía dual cada 6 meses por cuatro años y luego anualmente tras haber iniciado quimioterapia, evidenciar la presencia de raquitismo mediante rayos X en mano izquierda de forma anual y evaluación de fracturas no vertebrales por medio de radiografías solamente tras la sospecha de fractura en presencia de síntomas como dolor, enrojecimiento, inflamación o limitación de movimiento. La presencia de fracturas vertebrales fue evaluada mediante rayos X anuales.

Resultado	Al finalizar el estudio, el 88.5% de las niñas y el 97.2% de los niños habían abandonado la terapia a los 30 y 42 meses respectivamente. Se evidenciaron fracturas en cualquier zona del cuerpo en el 36% de los niños de ambos sexos de las cuales el 71% ocurrió en los primeros dos años del estudio. La incidencia acumulativa de fracturas no vertebrales fue del 23%, todas causadas por traumas menores como caer de una silla o recibir un golpe con una pelota, y de 32.5% para fracturas vertebrales, todas ocurridas en el período de tratamiento con quimioterapia hasta un máximo de 6 meses tras haberla culminado.
------------------	---

La osteotoxicidad causada por la leucemia y sus tratamientos influye en la pérdida precoz de la densidad mineral ósea, lo cual provoca osteoporosis y debilitan los huesos, lo que los hace más propensos a sufrir fracturas por traumatismos leves durante el período de tratamiento o secuelas tras finalizado el mismo.

Objetivo 2. Beneficios del ejercicio aeróbico de bajo impacto durante el tratamiento de cáncer para la mejora de capacidades cardiopulmonares, musculares y funcionales de los pacientes pediátricos.

Autor	Van Dijk-Lokkart, et. al., 2016.
--------------	----------------------------------

Título	Rendimiento cardiorrespiratorio y actividad física en niños con cáncer.
---------------	---

Estudio El objetivo de este ensayo controlado aleatorio de corte transversal es evaluar el rendimiento cardiorrespiratorio de los niños con cáncer durante o poco después de su tratamiento tras un programa de entrenamiento cardiorrespiratorio y de fuerza muscular.

El estudio fue realizado con 60 participantes, 35 niños y 25 niñas, con rangos de edad de 8 a 18 años y edad media de 12.6 años. El grupo control fue conformado por 37 niños que recibían únicamente quimioterapia o radioterapia. El grupo de intervención fue conformado por 17 niños los cuales fueron sometidos a un entrenamiento de 12 semanas en 3 fases de 4 semanas cada una. La primera fase constó de combinación de ejercicio cardiorrespiratorio con enfoque en fuerza muscular con intensidad del 66% al 77% de la frecuencia cardíaca máxima [FC_{máx}]; la segunda fase constó de entrenamiento con enfoque en resistencia cardiorrespiratoria y fuerza muscular con intensidad del 77% al 90% de FC_{máx}; la tercera fase constó de entrenamiento interválico vigoroso de intensidad mayor a 90% de FC_{máx}. En las semanas 6 a 12 se les solicitó a los participantes realizar ejercicio adicional en casa a tolerancia al menos dos veces por semana.

La medida utilizada fue la capacidad cardiorrespiratoria mediante el VO₂máx al finalizar el estudio y comparar ambos grupos para verificar la eficacia de la intervención.

Resultado	El valor de VO₂máx predicho para este estudio fue de 45.1 ml/kg/min; al finalizar las 12 semanas se compararon los valores de VO₂máx donde la suma de ambos grupos tuvo un resultado promedio de 31.7 ml/kg/min, lo cual es 13.4 ml/kg/min por debajo del valor predicho. Sin embargo, un total de 32 niños [53%] de ambos grupos donde 17 de ellos son el grupo de intervención completo y 15 son del grupo control, tuvieron un valor de aproximadamente 12 ml/kg/min por debajo del valor predicho, lo cual los deja por arriba de la media obtenida como grupo. Si bien, una buena parte del grupo control obtuvo los mismos resultados del grupo de intervención, es notorio que la implementación de ejercicio aeróbico como acompañamiento del tratamiento de cáncer permite la mejoría de capacidades respiratorias y resistencia, en comparación a únicamente recibir terapia convencional, lo cual genera fatiga y aumenta el riesgo de desarrollar patrones sedentarios y reducir la capacidad pulmonar basal.
Autor	Santos, Moussalle & Heinzmann-Filho, 2020.
Título	Efectos del ejercicio físico durante la hospitalización en niños y adolescentes con cáncer: una revisión sistemática.
Estudio	El objetivo de esta revisión sistemática fue recolectar evidencia sobre los efectos del ejercicio físico en los niños y adolescentes con cáncer para brindar nuevos métodos de terapia de acompañamiento al tratamiento convencional. El estudio con resultados significativos fue realizado con 7 participantes, 4 niños y 3 niñas, con edad media de 5.1 años en fase de mantenimiento del tratamiento de LLA. El programa de intervención constó de 16 semanas, 3 sesiones por semana con una duración total de 60 a 90 minutos cada una. Cada sesión de entrenamiento inició con 10 minutos de ejercicio aeróbico con intensidad de 50% de FCmáx y progresó hasta 30 minutos con intensidad de 70% o más de FCmáx en cicloergómetro, banda sin fin o elíptica; se continuó con entrenamiento de resistencia con 8 a 15 repeticiones de 11 ejercicios

variados y personalizados por paciente que involucraron a los grupos musculares mayores, tales como *press* de banca, *press* de hombro, extensión de pierna y *press* de pierna; al finalizar las 16 semanas se continuó con 20 semanas sin entrenamiento estructurado.

La medida utilizada fue el $\text{VO}_2\text{máx}$ al iniciar y al finalizar el estudio para comparar los resultados y verificar mejorías significativas y la fuerza fue medida mediante el test de 6 repeticiones máximas [6RM] ya que se adecuaba mejor a las capacidades de los participantes y las necesidades del estudio.

Resultado El $\text{VO}_2\text{máx}$ promedio al inicio del estudio fue de 24 ml/kg/min y al finalizar el mismo se evidenció una mejoría del 54% al 67% [36.96 a 40.08 ml/kg/min] este valor es menor al de los sobrevivientes de LLA pero demuestra una mejoría significativa para quienes se encuentran en tratamiento. No se evidenció mejoría significativa en el umbral ventilatorio. Se evidenció un aumento de fuerza de extensión de rodilla al 20% y de aproximadamente 13% en *press* de pierna y *press* de banca.

Las mejorías significativas evidenciadas permiten reconocer que la intervención con ejercicio aeróbico como acompañamiento al tratamiento convencional permite que las capacidades físicas puedan ser mantenidas o mejoradas y contribuir así a la pronta recuperación.

Autor Braam, Van der Torre, Takken, Veening, van Dulmen & Kaspers, 2017.

Título Revisión sobre intervenciones de ejercicio físico para niños y adultos jóvenes durante y posterior al tratamiento para cáncer infantil.

Estudio El objetivo de esta revisión bibliográfica fue evaluar los efectos de la intervención con entrenamiento físico sobre la capacidad aeróbica, fuerza

muscular y ejecución funcional de niños con cáncer en los primeros años desde su diagnóstico.

Se analizaron en total 6 ensayos aleatorios controlados con un total de 171 niños con tratamiento para LLA. El grupo control recibió únicamente

tratamiento convencional, quimioterapia o radioterapia, mientras que el grupo de intervención realizaba sesiones de entrenamiento con duración de 15 a 60 minutos; los tipos de intervención, tales como nadar, correr, ejercicios en elíptica y banda sin fin, entrenamiento de los músculos inspiratorios al 30% de la carga, y las sesiones semanales o duración total de la intervención variaron en los diversos estudios.

En todos los estudios, las medidas utilizadas para valorar la aptitud cardiorrespiratoria fueron el test de correr y marcha por 9 minutos, el test temporizado de subir y bajar escaleras, el test temporizado de levantarse y caminar y la prueba de corrida rápida por 20 metros.

Resultado En el grupo de intervención se evidenció una mejora significativa del rendimiento cardiorrespiratorio con diferencia de media estándar de 0.69 en la prueba de correr y caminar por 9 minutos respecto al grupo control. No hubo mejorías significativas de un grupo sobre otro en el test temporizado de subir y bajar escaleras. Con relación a la fuerza muscular, únicamente se encontró una mejoría significativa en la combinación de fuerza de espalda y pierna, con una diferencia estándar media de 1.41 respecto al grupo control. Una intervención de 15 a 60 minutos se asoció a la mejoría significativa en rendimiento cardiorrespiratorio y fuerza muscular en niños con LLA.

Objetivo 3. Dosificación de las distintas formas de ejercicio aeróbico de baja intensidad que pueden ser aplicadas en pacientes pediátricos oncológicos durante el tratamiento de cáncer para la mejora en la calidad de vida.

Autor Fiuza, et. al., 2017.

Título Intervención mediante Ejercicio en Pacientes Pediátricos con Tumores Sólidos: La Actividad Física en Cáncer Pediátrico.

Estudio	El objetivo de este ensayo controlado aleatorio fue observar los efectos del ejercicio en pacientes con tumores sólidos malignos. El estudio fue realizado con 49 participantes con edades entre 4 a 18 años con diagnóstico de tumor extracraneal sólido cuyo único tratamiento fue cirugía de extirpación. El grupo control fue conformado por 25 participantes y el grupo de intervención por 24 participantes asignados de forma aleatoria. La intervención fue realizada durante el periodo neoadyuvante de la quimioterapia, 3 veces por semana los días lunes, miércoles y viernes, con duración de 60 a 70 minutos cada una. Cada sesión inició con 30 minutos de ejercicio aeróbico en cicloergómetro, banda sin fin o máquina de pedaleo de brazo para niños sin alguna extremidad inferior; la carga fue en aumento gradual con intensidad máxima de 60% a 70% de FC_{máx} y se continuó con 30 a 40 minutos de entrenamiento de fuerza con resistencia. La medida utilizada fue el VO₂máx en ml/min y la versión en español del inventario de calidad de vida pediátrico.
Resultado	Al finalizar el estudio, se evidenció una mejoría significativa en la capacidad aeróbica del grupo de intervención con valor 1073 ml/min sobre el grupo control 1035 ml/min con una significancia de 0.994. Se evidenció una mejoría del umbral ventilatorio con significancia de 0.040 y de los valores de calidad de vida con significancia de 0.570 del grupo de intervención sobre el grupo control; no se encontraron cambios significativos con respecto al sexo, la edad o el tipo de cáncer. Una intervención con dosificación de intensidad media demostró resultados favorables en la calidad de vida y resistencia respiratoria de los participantes.
Autor	Khodashenas, Badiie, Sohrabi, Ghassemi, & Hosseinzade, 2017.
Título	Los efectos de un programa de ejercicio aeróbico en la calidad de vida de niños con cáncer.

Estudio	El objetivo del presente ensayo aleatorio controlado fue evidenciar los beneficios del ejercicio aeróbico en la calidad de vida de los niños con cáncer. El estudio se llevó a cabo con 20 participantes, 8 niñas y 12 niños, con edades entre 5 a 12 años diagnosticados con LLA. Fueron divididos de forma aleatoria en dos grupos iguales, el grupo control, con edad media de 8.8 años, recibió tratamiento convencional únicamente. El grupo de intervención, con edad media de 10.1, fue incluido en un programa de ejercicio aeróbico por 12 semanas, 3 sesiones por semana con duración de 60 minutos máximo de ejercicio aeróbico que incluyó caminar, correr y actividades lúdicas, adaptadas al interés del niño, con intensidad de 60% a 85% de FCmáx. La medida utilizada fue el módulo de cáncer de la versión original del Inventario de calidad de vida pediátrica y escalas de valoración del dolor en cuanto a la limitación funcional causadas por el mismo.
Resultado	El reporte realizado por los padres y cuidadores de los cambios en la calidad de vida de los participantes evidenció una mejoría en cuanto al manejo del dolor y su afectación funcional con significancia del 0.002 y mejoría en problemas cognitivos o de aprendizaje con significancia de 0.039 del grupo de intervención sobre el grupo control. El entrenamiento mediante el ejercicio aeróbico por un mínimo de 60 minutos evidenció mejorías en la calidad de vida de los participantes.
Autor	Su, Wu, Chiou, Lin, & Liao, 2018.
Título	Evaluación de los efectos de caminar como una intervención de ejercicio para niños y adolescentes con cáncer: un estudio de viabilidad.
Estudio	El presente estudio de viabilidad tuvo como objetivo examinar los efectos de utilizar la caminata como ejercicio sobre la tolerancia al ejercicio, fatiga, calidad de descanso y calidad de vida en niños y adolescentes con cáncer.
	El estudio fue realizado con 18 niños, 7 niños y 11 niñas, con rango de edad entre 3 a 18 años y edad media de 11.89 años tratados con quimioterapia. Es

importante destacar que el 66.6% ya practicaba ejercicio previo al diagnóstico. El estudio consistió en 6 semanas de caminata al menos 5 días a la semana de 15 a 30 minutos a un ritmo tolerado por el paciente con incremento.

Las medidas utilizadas fueron el uso de un reloj Garmin Vivofit para monitorear la actividad física, el cuestionario sobre la calidad del sueño, el inventario sobre la calidad de vida pediátrica y test de marcha de 6 minutos.

Resultado La tasa de aumento de distancia recorrida durante el test de marcha de 6 minutos fue de 9.1% en la primera semana y 34.2% en la sexta semana, lo cual indica un aumento en la resistencia cardiopulmonar y la tolerancia al ejercicio en los participantes. Los valores de fatiga subieron de 77.74 en la primera semana a 86.11 en la sexta semana, donde mientras más alto el valor menor fatiga percibida, la calidad de descanso disminuyó en valor de 4.78 a 4.72 lo cual indica menor dificultad para descansar correctamente y los valores de calidad de vida pasaron de 80.41 a 85.73, mientras más alto el valor mejor calidad de vida indican.

Una intervención sencilla de caminata de 15 a 30 minutos fue asociada a la mejora de la calidad de vida integral de los participantes.

4.2 Discusión

Con base a las tablas anteriores se puede reconocer que la mayor consecuencia causada por el cáncer, así como los tratamientos convencionales como quimioterapia o radioterapia, es el daño en el sistema óseo, con daños de índole degenerativo, y cardiopulmonar, lo cual causa deterioro de la condición física. De los autores que enumeran dichos efectos, Rodríguez & Galván (2014) mencionaron que el sexo femenino y la intensidad con la que el tratamiento es aplicado son condiciones que varían de forma importante los efectos producidos; además, mencionan que el sobrepeso, más que la baja de peso en pacientes oncológicos pediátricos, es

un efecto indirecto del tratamiento mencionado y que es común encontrar osteonecrosis de rodilla en los mismos. Ward, et. al. (2018) mencionan que es muy común encontrar fracturas en pacientes con tratamiento activo, éstas pueden ser vertebrales o no vertebrales y causan limitación de movimiento, mientras que Silva, et. al., (2021) destaca que el dolor es el síntoma limitante más común.

En los estudios analizados, no existe un tiempo común de duración de las intervenciones con resultados significativos, sin embargo, se puede observar que las duraciones varían de 12 a 16 semanas, excepto en el estudio realizado por Su, et. al., (2018) que consistió únicamente de 6 semanas. Todas las intervenciones seguían el tratamiento estipulado durante todo el tiempo del estudio a excepción de Van Dijk-Lokkart, et. al., (2016), cuyo estudio fue dividido en 3 fases, de un mes cada una, donde variaron la intensidad y tipo de intervención por fase.

La duración de la sesión de intervención con ejercicio aeróbico fue en promedio 60 minutos máximo con una intensidad de esfuerzo del 60% al 85%, todos los estudios utilizaron la FC_{máx.} como método para graduar dicha intensidad. Los autores Su, et. al., (2018) trabajaron con un máximo de tiempo por sesión de 30 minutos y obtuvieron resultados similares a los demás autores. La intervención mencionada por Santos, et. al., (2020) fue de 3 sesiones por semana, sin mencionar los días específicos y Fiuza, et. al., (2017) mencionan que las intervenciones fueron realizadas los días lunes, miércoles y viernes lo cual permitió un día de recuperación entre sesiones.

En la mayoría de los estudios de intervención, la medida utilizada para valorar la capacidad respiratoria fue el VO₂_{máx} donde se compararon los valores al inicio y al final del estudio para evaluar una diferencia significativa; Braam, et. al., (2017) utilizaron además el test de

correr y marcha por 9 minutos, el test temporizado de subir y bajar escaleras, el test temporizado de levantarse y caminar y la prueba de corrida rápida por 20 metros y Santos, et. al., (2020) utilizaron el test 6RM que implica la carga máxima tolerada por el paciente mediante la cual puede realizar 6 repeticiones como máximo.

En todos los estudios que midieron el efecto del ejercicio directamente sobre la calidad de vida del paciente, se utilizó el Inventario de calidad de vida pediátrica [PedsQL por sus siglas en inglés] el cual toma como máximo 5 minutos en ser respondido y consiste en 23 ítems genéricos que evalúan 5 dominios de la salud: función física, función emocional, función psicosocial, función social y función escolar en niños y adolescentes de 2 a 18 años; éstos dominios son evaluados desde el punto de vista del niño y del padre. Este inventario fue utilizado en los resultados para verificar si las mejorías del sistema físico del niño tenían un efecto valioso sobre su calidad de vida, en donde Khodashenas, et. al., (2017) encontraron que existe una mejoría en el aprendizaje y capacidad cognitiva y Fiuza, et. al., (2017) encontraron una mejoría significativa en la calidad de vida global; datos que son importantes por los hallazgos realizados por Silva, et. al., (2021) en donde se reporta una disminución de la calidad de vida por el uso de medicamentos para contrarrestar los efectos secundarios de la quimioterapia y el desánimo de los pacientes, lo cual no contribuye a su pronta recuperación.

En los estudios se realizaron diferentes tipos de ejercicio aeróbico para mejorar la capacidad cardiopulmonar, fortalecer músculos y mejorar la calidad de vida del paciente, factores que contribuyen a la pronta recuperación del cáncer y permiten que los efectos secundarios del tratamiento sean más manejables. Van Dijk-Lokkart, et. al., (2016) encontraron que enfocar el entrenamiento por fases en fuerza muscular y ejercicio aeróbico, seguido de entrenamiento interválico al 90% de la FC_{máx.} aumentó los valores de VO₂_{máx}

por sobre el grupo control y Braam, et. al., (2017) encontraron resultados similares al entrenar los músculos inspiratorios al 30% de la carga, lo cual es un ejercicio directo de acondicionamiento de los músculos encargados de la respiración. Por otro lado, Santos, et. al., (2020) encontraron que el entrenamiento aeróbico combinado con fuerza muscular permitió no solo el aumento del $VO_2\text{máx}$ sino aumento de extensión de rodilla y aumento de fuerza en grupos musculares de piernas y pecho.

Khodashenas, et. al., (2017) encontraron que el entrenamiento aeróbico con actividades como correr, caminar o actividades lúdicas, demostró una mejoría en la forma en que los pacientes manejaron el dolor durante su tratamiento, lo cual contribuyó a su calidad de vida. Por otro lado, Fiuza, et. al., (2017) encontraron que el uso de mecanoterapia como cicloergómetro, banda sin fin y máquina de pedaleo de brazo evidenció mejoría en el umbral ventilatorio y aumento de los valores de calidad de vida sin encontrar diferencias entre ambos sexos.

Muy distinto a los autores previamente mencionados, Su, et. al., (2018) encontraron mediante un ejercicio simple y no estructurado, caminar como parte de la rutina de la vida diaria, permitió un aumento en la resistencia cardiopulmonar y una disminución de la fatiga. Los participantes reportaron mejor descanso y un aumento mayor de la calidad de vida.

Entre los criterios de inclusión de los distintos estudios se tienen pacientes menores de 18 años con diagnóstico de cáncer de cualquier tipo confirmado y con tratamiento convencional iniciado, se excluyen pacientes mayores de 18 años, excepto Khodashenas, et. al., (2017) que incluyeron pacientes de 5 a 12 años y Su, et. al., (2018) que incluyeron pacientes desde que pueden caminar por si mismos hasta la edad de 19 años, pacientes con tratamientos naturales o alternativos, pacientes ya recuperados de cáncer o diagnósticos no confirmados. Únicamente

Santos, et. al., (2020) recopilaron datos de estudios realizados en inglés, español o portugués, mientras los demás autores recopilaron datos en inglés y español.

4.3 Conclusión

El objetivo fundamental de esta investigación es distinguir los efectos fisiológicos del ejercicio aeróbico de baja intensidad en pacientes pediátricos con tratamiento de cáncer, quimioterapia o radioterapia, como un mitigador de síntomas causados tanto por la enfermedad en sí misma como por los tratamientos convencionales y su efecto en la calidad de vida de los pacientes. Entre los beneficios encontrados a lo largo de los diversos estudios se destacan los siguientes: reducción del dolor o mejoría en la capacidad de manejo del dolor, mejoría en la capacidad cardiorrespiratoria y resistencia física reflejada en el aumento de $VO_2\text{max}$ y mejora global de la calidad de vida de los pacientes como mejor descanso, rendimiento cognitivo y social, en comparación de aquellos que solamente recibieron tratamiento convencional.

Durante el ejercicio aeróbico, el sistema cardiopulmonar produce respuestas que permiten satisfacer la necesidad y requerimiento tanto energético como de oxígeno, por lo tanto aumenta la frecuencia cardiaca y respiratoria con el fin de aumentar el riego sanguíneo y poder proveer de estos recursos a los tejidos implicados. Con el entrenamiento constante, estas adaptaciones se vuelven permanentes y las capacidades aeróbicas y cardíacas aumentan lo cual permite mayor resistencia ante el ejercicio. Una de las adaptaciones que se produce durante el ejercicio es la liberación de hormonas tales como adrenalina y endorfinas, éstas permiten una sensación de bienestar global y reducen la sensación del dolor lo cual perdura hasta algunas horas tras finalizar la actividad física. Estos factores combinados permiten que la calidad de vida del paciente sea mejor ya que logran descansar correctamente, tienen energías suficientes

para realizar actividades de la vida diaria y la sensación de bienestar que experimentan les da un sentido de positividad en su vida.

Con base en la evidencia analizada, se considera que un plan de tratamiento paralelo a la aplicación de quimioterapia puede ser benéfico cuando cumpla con las siguientes condiciones: realizar ejercicio aeróbico en elíptica, cicloergómetro o banda sin fin por 10 minutos al 50% de FC_{máx.} seguido de 10 minutos al 65% de FC_{máx.}, posteriormente, practicar por 10 minutos caminata lenta con entrenamiento de patrón respiratorio inspirando y espirando al mismo ritmo durante la caminata. Finalizar la sesión de tratamiento con 20 minutos de juego a la elección del paciente como fútbol, basquetbol o circuito de obstáculos; 3 veces por semana con un día de descanso entre sesión. En los días de descanso, los pacientes deberán realizar al menos 20 minutos de caminata, ejercicio en máquina o actividades lúdicas a tolerancia. La duración total del programa de tratamiento será desde la primera aplicación de quimioterapia hasta 2 meses tras finalizado el mismo.

4.4 Perspectivas

Se espera que este trabajo sea una fuente confiable de información para alumnos y fisioterapeutas interesados en mejorar la calidad de vida de los pacientes pediátricos con cáncer mediante el ejercicio aeróbico.

Además, se espera que esta investigación pueda servir como punto de referencia para tratamientos de acompañamiento utilizados de manera sistemática en instituciones hospitalarias públicas y privadas y que se fomente la investigación de nuevas y mejores técnicas de rehabilitación que permitan resultados más allá de la cura de la enfermedad.

Por último, se espera que esta investigación pueda ser utilizada como material de estudio respecto al vasto alcance que el ejercicio tiene sobre el organismo y fomentar así, la realización de ejercicio de forma cotidiana en la población general.

Referencias

- Abreu, L. (2010-2021). *Válvulas de retorno venoso en músculos* [Figura]. Recuperado de https://arteriasyvenas.org/index/bombas_musculares/
- Adamopoulos, S., Corrà, U., Laoutaris, I. D., Pistono, M., Agostoni, P. G., Coats, A. (...) & Piepoli, M. (2019). Exercise training in patients with ventricular assist devices: a review of the evidence and practical advice. A position paper from the Committee on Exercise Physiology and Training and the Committee of Advanced Heart Failure of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology [Entrenamiento en pacientes con dispositivos de asistencia ventricular: una revisión de evidencia y consejo clínico. Un documento de posición del Comité de Ejercicio, Fisiología y Entrenamiento y el Comité de Fallo Cardíaco Avanzado de la Asociación de Fallo Cardíaco de la Sociedad Europea de Cardiología]. *European journal of heart failure*, 21(1), 3–13. <https://doi.org/10.1002/ejhf.1352>
- Aldrink, J., Heaton, T., Dasgupta, R., Lautz, T., Malek, M., Abdessalam, S. (...) & American Pediatric Surgical Association Cancer Committee (2019). Update on Wilms tumor [Actualización sobre el tumor de Wilms]. *Journal of pediatric surgery*, 54(3), 390–397. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2018.09.005>
- Armstrong, C. & Sun, L. (2020). Neurological complications of pediatric cancer [Complicaciones neurológicas de cancer pediátrico]. *Cancer metastasis reviews*, 39(1), 3-23. <https://doi.org/10.1007/s10555-020-09847-0>
- Argimon, J. & Jiménez, J. (2013). *Métodos de investigación clínica y epidemiología 4ta edición*. Barcelona. Editorial Elsevier
- Atun, R., Bhakta, N., Denburg, A., Frazier, A., Friedrich, P., Gupta, S. (...) & Rodríguez, C.

- (2020). Sustainable care for children with cancer: a Lancet Oncology Commission [Atención sostenible para niños con cáncer: una Comisión Oncológica de Lancet]. *The Lancet. Oncology*, 21(4), e185–e224. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(20\)30022-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(20)30022-X)
- Aujla, R. & Patel, R. (2021). Creatine Phosphokinase [Creatin Fosfokinasa]. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546624/>
- Braam, K., Van der Torre, P., Takken, T., Veening, M., Van Dulmen, E. & Kaspers, G. (2017). Physical exercise training interventions for children and young adults during and after treatment for childhood cancer (Review) [Revisión sobre intervenciones de ejercicio físico para niños y adultos jóvenes durante y posterior al tratamiento para cáncer infantil]. *Cochrane Database Systematic Reviews* 2016, 3. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008796.pub3>
- Brayley, J., Stanton, L., Jenner, L. & Paul, S. (2019). Recognition and management of leukaemia in children [Reconocimiento y manejo de leucemia en niños]. *British journal of nursing* (Mark Allen Publishing), 28(15), 985–992. <https://doi.org/10.12968/bjon.2019.28.15.985>
- Bernal, L. (2018). *Temas de Fisioterapia*. eBook. Luis Bernal Ruíz
- Brooks G. (2020). Lactate as a fulcrum of metabolism [Lactato como un punto de apoyo en el metabolismo]. *Redox Biology*, 35, 101454. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101454>
- Brown, H., Téllez-Gabriel, M. & Heymann, D. (2017), Cancer stem cells in osteosarcoma [Células madre cancerosas en osteosarcoma]. *Cancer letters*, 386, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2016.11.019>

Buzaeva, Y. (2018). *Representación gráfica de la anemia en corte transversal del vaso sanguíneo en comparación a un vaso sano* [Figura]. Recuperado de <https://tinyurl.com/sdex4unb>

Calderón, F. (2007). *Fisiología aplicada al deporte 2ª edición*. España. Editorial Tébar

Cano, N., Misra, M. & Ackerman, K. (2016). Exercise, Training, and the Hypothalamic-Pituitary-Gonadal Axis in Men and Women [Ejercicio, Entrenamiento y el Eje Hipotalámico-Pituitario-Gonadal en Hombres y Mujeres]. *Frontiers of hormone research*, 47, 27–43. <https://doi.org/10.1159/000445154>

Carrascosa, A., Guissinyé, M. & Yeste, D. (2000). *Resumen del proceso de remodelación ósea* [Figura]. De En Tratado de endocrinología de la infancia y de la adolescencia, 2ª edición. España. Ediciones Doyma

Coates, A., Mountjoy, M. & Burr, J. (2017). Incidence of Iron Deficiency and Iron Deficient Anemia in Elite Runners and Triathletes [Incidencia de la Deficiencia de Hierro y Anemia Ferropénica en Corredores de Élite y Triatletas]. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 27(5), 493–498. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000390>

Coll, J. (2018). *Tipos de contracción muscular* [Figura]. Recuperado de <https://tinyurl.com/t7spujs7>

Costas, G. (2018). *Transformación del piruvato por la vía de Embden-Meyerhof* [Figura]. Recuperado de <https://cienciaybiologia.com/glucolisis/>

Cuadrado, C., González, I., Prieto, C. & Denburg, A. (2017). *Cáncer Infantil en Latinoamérica*:

un análisis comparativo de la respuesta de los sistemas de salud. Perfiles de países. *Trabajos de Investigación OMS/OPS*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publications/335207717>

Cuevas, B. (2017). *Estructura del sarcómero* [Figura]. Recuperado de

<https://tinyurl.com/5928du64>

Dang, M. & Phillips, P. (2017). Pediatric Brain Tumors [Tumores Cerebrales Pediátricos].

Continuum (Minneapolis, Minn.), 23(6, Neuro-oncology), 1727-1757.

<https://doi.org/10.1212/CON.0000000000000545>

Denzin, N. & Lincoln, Y. (2013). *Las estrategias de investigación cualitativa, Manual de investigación cualitativa volumen III*. Barcelona. Editorial Gedisa

Dolan, E., Varley, I., Ackerman, K., Pereira, R., Elliott-Sale, K. & Sale, C. (2020). The Bone Metabolic Response to Exercise and Nutrition [La Respuesta Metabólica del Hueso al Ejercicio y la Nutrición]. *Exercise and sport sciences reviews*, 48(2), 49–58.

<https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000215>

Downie, P. (2001). *CASH Neurología para fisioterapeutas*. España. Editorial Médica Panamericana

Duclos, M. & Tabarin, A. (2016). Exercise and the Hypothalamo-Pituitary-Adrenal Axis [Ejercicio y el Eje Hipotálamo-Pituitario-Adrenal]. *Frontiers of hormone research*, 47, 12–26. <https://doi.org/10.1159/000445149>

Duffy, E., Dias, N., Hendricks-Ferguson, V., Hellsten, M., Skeens-Borland, M., Thornton, C., & Linder, L. (2019). Perspectives on Cancer Pain Assessment and Management in Children [Perspectivas sobre el Manejo del Dolor en niños con Cáncer]. *Seminars in oncology nursing*, 35(3), 261–273. <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2019.04.007>

Dykewicz, M., Rodrigues, J., & Slavin, R. (2018). Allergic fungal rhinosinusitis [Rinosinusitis alérgica por hongos]. *The Journal of allergy and clinical immunology*, 142(2), 341–351.

<https://doi.org/10.1016/j.jaci.2018.06.023>

Eliakim A. (2016). Endocrine Response to Exercise and Training-Closing the Gaps [Respuesta Endocrina al Ejercicio y Entrenamiento – Cerrando las Brechas]. *Pediatric exercise science*, 28(2), 226–232. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0244>

Fernández, C. & Melián, A. (2013). *Cinesiterapia, Bases fisiológicas y aplicación práctica*. España. Editorial Elsevier

Fiuza, C., Padilla, J., Soares, L., Santana, E., Quiroga, J., Santos, A. (...) & Lucia, A. (2017). Exercise Intervention in Pediatric Patients with Solid Tumors: The Physical Activity in Pediatric Cancer Trial [Intervención mediante Ejercicio en Pacientes Pediátricos con Tumores Sólidos: La Actividad Física en Cáncer Pediátrico]. *Medicine and science in sports and exercise*, 49(2), 223–230. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001094>

Folkert, I., Devalaraja, S., Linette, G., Weber, K. & Haldar, M. (2019). Primary Bone Tumors: Challenges and Opportunities for CAR-T Therapies [Tumores de Tejido Óseo Primario: Retos y Oportunidades para Terapias CAR-T]. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 34(10), 1780–1788. <https://doi.org/10.1002/jbmr.3852>

[Fotografía de Pedro García]. (Badajoz. 2013). Electroestimulación Deportiva. España.
Recuperado de <https://tinyurl.com/sec5pu55>

Graham, T. & Sottoriva, A. (2017). Measuring cancer evolution from the genome [Midiendo la evolución del cáncer desde el genoma]. *The Journal of pathology*, 241(2), 183–191. <https://doi.org/10.1002/path.4821>

Green, D., Hopman, M., Padilla, J., Laughlin, M. & Thijssen, D. (2017). Vascular Adaptation to Exercise in Humans: Role of Hemodynamic Stimuli [Adaptación Vascular al Ejercicio en Humanos: Rol del Estímulo Hemodinámico]. *Physiological reviews*, 97(2), 495–528.

<https://doi.org/10.1152/physrev.00014.2016>

Gómez, S. (2012). *Metodología de la Investigación*. Red Tercer Milenio. Estado de México. México

Gómez, C., Segura, A., Pájaro, D. & Mesa, M. (2020). Incidencias y determinantes demográficos de la leucemia linfocítica aguda en pacientes con cáncer pediátrico,

Antioquia. *Universidad y Salud*, 22(2): 112-119.

<https://doi.org/10.22267/rus.202202.182>

González, M., Bermeo, J., Laverde, L. & Tafurt, Y. (2019). Carcinógenos ambientales asociados a cáncer infantil. *Universidad y Salud*, 21(3):270-276.
<http://dx.doi.org/10.22267/rus.192103.164>

Groves, A., Gettinger, K., Druley, T., Kozel, B., Shinawi, M., Mohrmann, C. (...) & Hayashi, R. (2019). Special Therapy and Psychosocial Needs Identified in a Multidisciplinary Cancer Predisposition Syndrome Clinic [Terapia especial y Necesidades Psicosociales Identificados en una Clínica Multidisciplinaria de Predisposición al Cáncer]. *Journal of pediatric hematology/oncology*, 41(2), 133–136.
<https://doi.org/10.1097/MPH.0000000000001251>

Haff, G. & Triplett, N. (2017). *Principios del entrenamiento de la Fuerza y del Acondicionamiento Físico*. España. Editorial Paidotribo

Hall, J. & Guyton, A. (2016). *Tratado de Fisiología Médica decimotercera edición*. España. Editorial Elsevier

- Hamari, L., Järvelä, L., Lähteenmäki, P., Arola, M., Axelin, A., Vahlberg, T. & Salanterä, S. (2019). The effect of an active video game intervention on physical activity, motor performance, and fatigue in children with cancer: a randomized controlled trial [El efecto de una intervención con videojuego activo en la actividad física, desempeño motor y fatiga en niños con cáncer: un ensayo controlado aleatorio]. *BMC research notes*, 12(1), 784, <https://doi.org/10.1186/s13104-019-4821-z>
- Handa, A., Nozaki, T., Makidono, A., Okabe, T., Morita, Y., Fujita, K. (...) & Manabe, A. (2019). Pediatric oncologic emergencies: Clinical and imaging review for pediatricians [Emergencias pediátricas oncológicas: Revisión de imagenología clínica para pediatras]. *Pediatrics international: official journal of the Japan Pediatric Society*, 61(2), 122–139. <https://doi.org/10.1111/ped.13755>
- Hausman D. (2019). What Is Cancer? [¿Qué es cancer?]. *Perspectives in biology and medicine*, 62(4), 778–784. <https://doi.org/10.1353/pbm.2019.0046>
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M., Méndez, S. & Mendoza, C. (2014). *Metodología de la Investigación Sexta Edición*. México. McGraw Hill
- Heyward, V. (2006). *Evaluación de la aptitud física y prescripción del ejercicio 5ª edición*. España. Editorial Médica Panamericana
- Huang, T. & Ness, K. (2011). Exercise interventions in children with cancer: a review [Intervención del ejercicio en niños con cáncer: una revisión]. *International journal of pediatrics*, 2011, 461512. <https://doi.org/10.1155/2011/461512>
- Hubert, L., Ontanon, G. & Slawinski, J. (2017). Principios del fortalecimiento muscular: aplicaciones en el deportista en rehabilitación. *EMC – Kinesiterapia – Medicina Física* 38 (3). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S129329651785492X>

- Idorn, M. & Thor Straten, P. (2017). Exercise and cancer: from “healthy” to “therapeutic”? [Ejercicio en cáncer: ¿de “saludable” a “terapéutico”?]. *Cancer immunology, immunotherapy : CII*, 66(5), 667–671. <https://doi.org/10.1007/s00262-017-1985-z>
- Kendall, F., McCreary, E., Provance, P., Rodgers, M. & Romani, W. (2007). *Músculos, pruebas funcionales, postura y dolor quinta edición*. España. Editorial Marbán
- Kenn, C., & May, A. (2018). Ergometrie – Schritt für Schritt [Ergometría – Paso a Paso]. *Deutsche medizinische Wochenschrift* (1946), 143(17), 1252–1257. <https://doi.org/10.1055/s-0043-111859>
- Khodashenas, E., Badiee, Z., Sohrabi, M., Ghassemi, A., & Hosseinzade, V. (2017). The effect of an aerobic exercise program on the quality of life in children with cancer [Los efectos de un programa de ejercicio aeróbico en la calidad de vida de niños con cáncer]. *The Turkish journal of pediatrics*, 59(6), 678–683. <https://doi.org/10.24953/turkjped.2017.06.009>
- Kisner, C. & Colby, L. (2007). *Therapeutic Exercise 5th edition, Foundation and Techniques* [Ejercicio Terapéutico 5ta. Edición, Fundamentos y Técnicas]. United States. Davis Company
- Landier, W., Ahern, J., Barakat, L., Bhatia, S., Bingen, K., Bondurant, P. (...) & Hockenberry, M. (2016). Patient/Family Education for Newly Diagnosed Pediatric Oncology Patients [Educación paciente / familia para los niños recién diagnosticados con cáncer]. *Journal of pediatric oncology nursing: official journal of the Association of Pediatric Oncology Nurses*, 33(6), 422–431. <https://doi.org/10.1177/1043454216655983>
- Linder, L. & Hooke, M. (2019). Symptoms in Children Receiving Treatment for Cancer-Part II: Pain, Sadness, and Symptom Clusters [Síntomas en niños recibiendo tratamiento de

- cancer parte II: Dolor, Tristeza y Cadenas de Síntomas]. *Journal of pediatric oncology nursing: official journal of the Association of Pediatric Oncology Nurses*, 36(4), 262-279. <https://doi.org/10.1177/1043454219849578>
- Litin, C. (2018). *Mayo Clinic Family Health Book 5th edition*. United Kingdom. Mayo Clinic Press.
- Löllgen, H. & Leyk, D. (2018). Exercise Testing in Sports Medicine [Pruebas de Ejercicio en Medicina del Deporte]. *Deutsches Arzteblatt international*, 115(24), 409–416. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2018.0409>
- López, J. & Fernández, A. (2006). *Fisiología del Ejercicio Tercera Edición*. España. Editorial Médica Panamericana
- Madeira V. (2018). Overview of Mitochondrial Bioenergetics [Descripción General de la Bioenergética Mitocondrial]. *Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)*, 1782, 1–6. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7831-1_1
- Mann, J. (2015). *Aerobics Exercise: The Fitness Through Aerobics Bible* [Ejercicio Aeróbico: La Biblia del Acondicionamiento a Través de los Aeróbicos]. United States. Lulu Press
- Martin-Smith, R., Buchan, D., Baker, J., Macdonald, M., Sculthorpe, N., Easton, C., Knox, A. & Grace, F. (2019). Sprint Interval Training and the School Curriculum: Benefits Upon Cardiorespiratory Fitness, Physical Activity Profiles, and Cardiometabolic Risk Profiles of Healthy Adolescents [Entrenamiento Interválico en Carrera Rápida en el Currículo Escolar: Beneficios en la Capacidad Cardiorespiratoria, Perfiles de Actividad Física y Perfiles de Riesgo Cardiometabólico en Adolescentes Sanos]. *Pediatric exercise science*, 31(3), 296–305. <https://doi.org/10.1123/pes.2018-0155>

- Mayne, S., Playdon, M. & Rock, C. (2016). Diet, nutrition, and cancer: past, present and future [Dieta, nutrición, y cancer: pasado, presente y futuro]. *Nature reviews. Clinical oncology*, 13(8), 504-515. <https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2016.24>
- McPhee, S. & Hammer, G. (2015). *Fisiopatología de la enfermedad: Una introducción a la medicina clínica, séptima edición*. España. McGraw Hill
- Morton, R., Sonne, M., Farias Zuniga, A., Mohammad, I., Jones, A., McGlory, C., Keir, P., Potvin, J. & Phillips, S. (2019). Muscle fibre activation is unaffected by load and repetition duration when resistance exercise is performed to task failure [La activación de la fibra muscular no se ve afectada por la carga y duración cuando se realiza ejercicio de resistencia hasta el fracaso de la tarea]. *The Journal of physiology*, 597(17), 4601– 4613. <https://doi.org/10.1113/JP278056>
- Mukund, K. & Subramaniam, S. (2020). Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease [Músculo esquelético: Una revisión de la función de la estructura molecular en la salud y la enfermedad]. *Wiley interdisciplinary reviews. Systems biology and medicine*, 12(1), e1462. <https://doi.org/10.1002/wsbm.1462>
- Nagamori, A., Laine, C., Loeb, G. & Valero-Cuevas, F. (2021). Force variability is mostly not motor noise: Theoretical implications for motor control [La variación de fuerza no es solamente ruido motor: Implicaciones teóricas para el control motor]. *PLoS computational biology*, 17(3), e1008707. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1008707>
- Nolfi-Donagan, D., Braganza, A. & Shiva, S. (2020). Mitochondrial electron transport chain: Oxidative phosphorylation, oxidant production, and methods of measurement [Cadena de transporte de electrons mitochondrial: Fosforilación oxidativa, producción de oxígeno y métodos de medición]. *Redox biology*, 37, 101674. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101674>
- Nordin, M. & Frankel, V. (2004). *Biomecánica básica del sistema musculoesquelético*. España.

Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2020). Perfiles de país sobre cáncer, 2020.

Guatemala. Recuperado de <https://tinyurl.com/yzj7eyra>

Pavlov, D. & Landesberg, A. (2016). The cross-bridge dynamics is determined by two length-independent kinetics: Implications on muscle economy and Frank-Starling Law [La dinámica del puente cruzado está determinado por dos cinéticas independientes de la longitud: Implicaciones en la economía muscular y la ley de Frank-Starling]. *Journal of molecular and cellular cardiology*, 90, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2015.11.007>

Perry, D., Thomson, L., Pigula, F., Polizzotti, B., DiNardo, J., Nedder, A., Gauvreau, K. & Kheir, J. (2019). Changes in tissue oxygen tension, venous saturation, and Fick-based assessments of cardiac output during hyperoxia [Cambios en la tensión de oxígeno en el tejido, saturación venosa y evaluaciones basadas en Fick del gasto cardíaco durante la hiperoxia]. *Acta anaesthesiologica Scandinavica*, 63(1), 93–100. <https://doi.org/10.1111/aas.13225>

Prusakowski, M & Cannone, D. (2017). Pediatric Oncologic Emergencies [Emergencias Pediátricas Oncológicas]. *Hematology / oncology clinics of North America*, 31(6), 959–980. <https://doi.org/10.1016/j.hoc.2017.08.003>

Raghavan, M., Fee, D. & Barkhaus, P. E. (2019). Generation and propagation of the action potential [Generación y propagación del potencial de acción]. *Handbook of clinical neurology*, 160, 3–22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64032-1.00001-1>

Rajendran, M., Dane, E., Conley, J. & Tantama, M. (2016). Imaging Adenosine Triphosphate (ATP) [Imagen del Adenosin Trifosfato]. *The Biological bulletin*, 231(1), 73–84. <https://doi.org/10.1086/689592>

Rassier D. (2017). Sarcomere mechanics in striated muscles: from molecules to sarcomeres to cells [Mecánica del sarcómero en músculo estriado: desde las moléculas hasta los sarcómeros y las células]. *American journal of physiology. Cell physiology*, 313(2), C134–C145. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00050.2017>

Rodríguez, M. & Galván, D. (2014). Efectos de la quimioterapia en el sistema musculoesquelético de niños y adolescentes con leucemia linfoblástica aguda. *Revista Universidad y Salud* 16(1). Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072014000100011

Rodríguez, J., González, B., Torres, S., Martín, J., Jiménez, M. & Bellino, M. (2017). Effects of the application of therapeutic massage in children with cancer: a systematic review [Efectos de la aplicación de masaje terapéutico en niños con cáncer: una revisión sistemática]. *Revista latino-americana de enfermagem*, 25, e2903. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.1774.2903>

Roy, P., & Saikia, B. (2016). Cancer and cure: A critical analysis [Cáncer y cura: un análisis crítico]. *Indian journal of cancer*, 53(3), 441–442. **DOI:** 10.4103/0019-509X.200658. Recuperado de <https://tinyurl.com/ch8ck9rc>

[Fotografía de Eric Bouvet]. (Insitut Curie. 2016). Institut Curie Photographies. Francia. Recuperado de <https://tinyurl.com/ya9jw3sn>

Sánchez, N. (2013). Conociendo y comprendiendo la célula cancerosa: Fisiopatología del cáncer. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 24(4), 553-562. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(13\)70659-X](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(13)70659-X)

Santos, S., Moussalle, L. & Heinzmann-Filho, J. (2020). Effects of physical exercise during hospitalization in children and adolescents with cancer: a systematic review [Efectos del

ejercicio físico durante la hospitalización en niños y adolescentes con cáncer: una revisión sistemática]. *Revista paulista de pediatria: orgao oficial da Sociedade de Pediatria de Sao Paulo*, 39, e2019313. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2021/39/2019313>

Sarma, S. & Levine, B. (2016). Beyond the Bruce Protocol: Advanced Exercise Testing for the Sports Cardiologist [Más allá del Protocolo de Bruce: Pruebas Avanzadas para el Ejercicio para Cardiólogos Deportivos]. *Cardiology clinics*, 34(4), 603–608.

<https://doi.org/10.1016/j.ccl.2016.06.009>

Sbaraglia, M., Righi, A., Gambarotti, M. & Dei Tos, A. (2020). Ewing sarcoma and Ewing-like tumors [Sarcoma de Ewing y tumores tipo Ewing]. *Virchows Archiv : an international journal of pathology*, 476(1), 109–119. <https://doi.org/10.1007/s00428-019-02720-8>

Schüttler, D., Clauss, S., Weckbach, L. & Brunner, S. (2019). Molecular Mechanisms of Cardiac Remodeling and Regeneration in Physical Exercise [Mecanismos Moleculares de la Remodelación y Regeneración Cardíaca en el Ejercicio Físico]. *Cells*, 8(10), 1128.

<https://doi.org/10.3390/cells8101128>

Seals, D., Nagy, E. & Moreau, K. (2019). Aerobic exercise training and vascular function with ageing in healthy men and women [Entrenamiento de ejercicio aeróbico y la función vascular con envejecimiento en mujeres y hombres sanos]. *The Journal of physiology*, 597(19), 4901–4914. <https://doi.org/10.1113/JP277764>

Santos, S., Moussalle, L. & Heinzmann-Filho, J. (2020). Effects of Physical Exercise During Hospitalization in Children and Adolescents with Cancer: A Systematic Review [Efectos el Ejercicio Físico Durante la Hospitalización en Niños y Adolescentes con Cáncer: Una Revisión Sistemática]. *Revista paulista de pediatria: orgao oficial da Sociedade de Pediatria de Sao Paulo*, 39, e2019313. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2021/39/2019313>

Silva, F., Leite, A., Alvarenga, W., Nunes, M. & Nascimento, L. (2021). Management of chemotherapy-related symptoms in Children and adolescents: family caregiver's perspectives [Manejo de los síntomas relacionados a la quimioterapia en niños y adolescentes: perspectivas de los cuidadores]. *Revista da Escola de Enfermagem USP*, 55 e 20200484. <https://doi.org/10.1590/1980-220X-REEUSP-2020-0484>

Silverthorn, D., Ober, W., Garrison, C., Silverthorn, A. & Johnson, B. (2019). *Ciclo de contracción muscular* [Figura]. De Fisiología Humana: Un enfoque integrado 8ª edición.

España. Medica Panamericana
Srivastava, S., Koay, E., Borowsky, A., De Marzo, A., Ghosh, S., Wagner, P. & Kramer, B. (2019). Cancer overdiagnosis: a biological challenge and clinical dilemma [Sobrediagnóstico de cáncer: un desafío biológico y dilema clínico]. *Nature reviews. Cancer*, 19(6), 349–358. <https://doi.org/10.1038/s41568-019-0142-8>

Steliarova-Foucher, E., Colombet, M., Ries, L., Moreno, F., Dolva, A., Bray, F., Hesseling, P., Shin, H., Stiller, C. & IICC-3 contributors. (2017). International incidence of childhood cancer, 2001-10: a population-based registry study [Incidencia internacional de cáncer infantil, 2001-10: un estudio de registro basado en la población]. *The Lancet. Oncology*, 18(6), 719-731. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30186-9](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30186-9)

Su, H., Wu, L., Chiou, S., Lin, P. & Liao, Y. (2018). Assessment of the effects of walking as an exercise intervention for children and adolescents with cancer: A feasibility study [Evaluación de los efectos de caminar como una intervención de ejercicio para niños y adolescentes con cancer: un estudio de viabilidad]. *European journal of oncology nursing : the official journal of European Oncology Nursing Society*, 37, 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.ejon.2018.10.006>

Takeshi. (2018). *Músculos respiratorios principales: Intercostales y diafragma* [Figura].

Recuperado de <https://tinyurl.com/3bw6jefs>

Talbot, J. & Maves, L. (2016). Skeletal muscle fiber type: using insights from muscle developmental biology to dissect targets for susceptibility and resistance to muscle disease [Fibra musculoesquelética: Utilizando conocimiento de la biología del desarrollo muscular para diseccionar los objetivos en busca de susceptibilidad y resistencia a la enfermedad muscular]. *Wiley interdisciplinary reviews. Developmental biology*, 5(4), 518–534. <https://doi.org/10.1002/wdev.230>

Tanner, L., Sencer, S. & Hooke, M. (2017). The Stoplight Program: A Proactive Physical Therapy Intervention for Children With Acute Lymphoblastic Leukemia [El Programa del Semáforo: Una Intervención Fisioterapéutica Proactiva para Niños con Leucemia Linfoblástica Aguda]. *Journal of pediatric oncology nursing : official journal of the Association of Pediatric Oncology Nurses*, 34(5), 347–357. <https://doi.org/10.1177/1043454217698093>

Teletón México. (2021). *Cámara de aplicación de radioterapia infantil* [Figura]. Recuperado de <https://teleton.org/hito/>

Tiller N. (2019). Pulmonary and Respiratory Muscle Function in Response to Marathon and Ultra-Marathon Running: A Review [Función de los Músculos Pulmonares y Respiratorios en Respuesta a la Maratón y Ultra Maratón: Una Revisión]. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(7), 1031–1041. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01105-w>

Tutelman, P., Chambers, C., Stinson, J., Parker, J., Fernandez, C Witteman, H. (...) & Irwin, K. (2018). Pain in Children With Cancer: Prevalence, Characteristics, and Parent Management [Dolor en niños con cancer: Prevalencia, Características y Manejo de Padres]. *The Clinical journal of pain*, 34(3), 198-206. <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000000531>

- Van Dijk-Lokkart, E., Braam, K., Kaspers, G., Takken, T., Huisman, J., Bierings, M. (...) & Veening, M. A. (2016). Cardiorespiratory fitness and physical activity in children with cancer [Rendimiento cardiorespiratorio y actividad física en niños con cáncer]. *Supportive care in cancer: official journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 24(5), 2259–2268. <https://doi.org/10.1007/s00520-015-2993-1>
- Van Paridon, K., Timmis, M., Nevison, C. & Bristow, M. (2017). The anticipatory stress response to sport competition; a systematic review with meta-analysis of cortisol reactivity [La respuesta de estrés anticipatorio ante la competencia deportiva; una revisión sistemática con meta análisis de la reactividad del cortisol]. *BMJ open sport & exercise medicine*, 3(1), e000261. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000261>
- Vega, R., Konhilas, J., Kelly, D. & Leinwand, L. (2017). Molecular Mechanisms Underlying Cardiac Adaptation to Exercise [Mecanismos Moleculares Subyacentes en la Adaptación Cardíaca al Ejercicio]. *Cell metabolism*, 25(5), 1012–1026. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.025>
- Velten, D., Zandonade, E., & Monteiro de Barros Miotto, M. (2017). Prevalence of oral manifestations in children and adolescents with cancer submitted to chemotherapy [Prevalencia de las manifestaciones orales en niños y adolescentes con cáncer sometidos a quimioterapia]. *BMC oral health*, 17(1), 49. <https://doi.org/10.1186/s12903-016-0331-8>
- Verma, N. & Bhattacharya, S. (2020). Time to Diagnosis and Treatment of Childhood Cancer [Tiempo de diagnóstico y tratamiento en cáncer infantil]. *Indian journal of pediatrics*, 87(8), 641–643. <https://doi.org/10.1007/s12098-020-03217-y>

Viña, J., Rodríguez, L., Salvador, A., Tarazona, F. & Gómez, M. (2016). Exercise: the lifelong supplement for healthy ageing and slowing down the onset of frailty [Ejercicio: El suplemento de por vida para el envejecimiento saludable y ralentizar la aparición de la fragilidad]. *The Journal of physiology*, 594(8), 1989–1999. <https://doi.org/10.1113/JP270536>

Vived, A. (2005). *Fundamentos de la fisiología de la actividad física y el deporte*. España. Editorial Médica Panamericana

Wang, Y. & Xu, D. (2017). Effects of aerobic exercise on lipids and lipoproteins [Efectos del ejercicio aeróbico en lípidos y lipoproteínas]. *Lipids in health and disease*, 16(1), 132. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0515-5>

Ward, L., Ma, J., Lang, B., Ho, J., Alos, N., Matzinger, M. (...) & Steroid-Associated Osteoporosis in the Pediatric Population (STOPP) Consortium (2018). Bone Morbidity and Recovery in Children With Acute Lymphoblastic Leukemia: Results of a Six-Year Prospective Cohort Study [Morbilidad Ósea y Recuperación en Niños con Leucemia Linfoblástica Aguda: Resultados de un Estudio de Cohorte Prospectivo de Seis Años]. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 33(8), 1435–1443. <https://doi.org/10.1002/jbmr.3447>

Wilmore, J. & Costill, D. (2007). *Fisiología del Esfuerzo y del Deporte 6ta edición*. España. Editorial Paidotribo

Zhao, R., Jiang, S., Zhang, L. & Yu, Z. (2019). Mitochondrial electron transport chain, ROS generation and uncoupling (Review) [Revisión de la cadena de transporte de electrones mitocondrial, generación de ROS y desacoplamiento]. *International journal of molecular medicine*, 44(1), 3–15. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2019.4188>