

## Diseño de prototipo para prótesis manufacturada con tecnología 3d en amputación transtibial

### *Prototype design<sup>o</sup> for prosthesis manufactured with 3d technology on transtibial amputation*

- Recibido: 2024/01/10 - Aprobado: 2024/03/12 - Publicado: 2024/03/15

Ronald Steven Veloz Pastrano  
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
ronald.rsvp.1997@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0003-0446-323X>

Estefany Michelle Morales Fernández  
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
emmoralesfnandz@hotmail.com  
<https://orcid.org/0009-0003-7765-1522>

#### Resumen

Se recapitula en este segmento como la tecnología 3D ha revolucionado el ámbito de salud, y como hace algunas décadas en el pasado, resultaba una limitación el tener una prótesis para regresar a las labores cotidianas. Así mismo se estableció un alcance explicativo porque proporcionó información que aporta a realizar de manera detallada paso a paso la elaboración de medidas previo del diseño de la prótesis. En cuanto a la instrumentación aplicada está el test de Daniel, el cual se encarga de evaluar la fuerza muscular en personas con amputación, además de valoraciones antropométricas del muñón, y por último se basó el diseño en un programa denominado Autodesk Fusion 360 el cual se encarga del delineación y mapeo de la prótesis. Basando su ergonomía y el tipo de material en función de los parámetros analizados como el nivel de vida y el peso del enfermo interesado en la prótesis, concluyendo de esta manera que la acción preventiva de evaluar a un paciente es clave al momento de saber si es un candidato potencial a prótesis o no con tecnología 3D.

**Palabras clave:** Prótesis 3D, AutoDesk, Medidas antropométricas, test de Daniels, amputación

## Abstract

This segment recapitulates how 3D technology has revolutionized the field of health, and how a few decades ago in the past, it was a limitation to have a prosthesis to return to daily work, and also established an explanatory scope because it provided information that contributes to perform detailed step by step measurements prior to the design of the prosthesis. As for the instrumentation applied is the Daniel test, which is responsible for assessing muscle strength in people with amputation, in addition to anthropometric assessments of the stump, and finally the design was based on a program called Autodesk Fusion 360 which is responsible for the design and mapping of the prosthesis. Basing its ergonomics and the type of material according to the analyzed parameters such as the level of lifestyle and weight of the patient interested in the prosthesis, thus concluding that the preventive action of evaluating a patient is key to know if he/she is a potential candidate for prosthesis or not with 3D technology.

**Keywords:** 3D prosthesis, AutoDesk, anthropometric measurements, Daniels test, amputation.

## Introducción

La amputación de una extremidad conlleva un gran proceso físico y psicológico en una persona, ya que implica una pérdida importante de la funcionalidad y la independencia. En Ecuador, sobre la base de la data del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se estima que alrededor del 1% de la población tiene alguna discapacidad física, lo que equivale a más de 160.000 personas. De estas, un porcentaje significativo son amputados por consecuencia requieren prótesis para recuperar su funcionalidad y mejorar su calidad de vida (Pazmiño, Median, Jacome , & Pazmiño , 2022).

En los últimos años, la tecnología 3D ha revolucionado la fabricación de prótesis, permitiendo la elaboración de prótesis transtibiales impresas con esta tecnología. Estas prótesis son enfocadas a población de escasos recursos o de difícil acceso a una, ya que son más económicas y accesibles a diferencia que las prótesis convencionales.

La fisioterapia juega un papel fundamental en la elaboración de prótesis transtibial impresas en 3D, ya que es necesario preparar al paciente para obtener su prótesis. Esto implica un proceso de fisioterapia que permita al paciente recuperar el vigor y movimiento de los músculos necesarios

para utilizar la prótesis de manera efectiva. Para ello, se utilizan medidas antropométricas y el examen de Daniels para medir la fuerza muscular.

En este contexto, el trabajo actual tiene como objetivo examinar el diseño y beneficio de prótesis transtibiales impresas con tecnología 3D, así como el porcentaje de personas amputadas y beneficiadas con prótesis en Ecuador. Además, se abordará el papel de la fisioterapia en las prótesis fabricadas e impresas en 3D y la preparación de los pacientes a través de medidas antropométricas y examen de Daniels para la valoración de la resistencia muscular.

Se procederá a realizar un minucioso análisis de la documentación científica disponible con relación a esta materia, empleando un enfoque altamente especializado y técnico, con el propósito de reconocer las ventajas y desventajas más destacadas de las prótesis transtibiales impresas en 3D, así como los desafíos que enfrentan los pacientes durante el proceso de adaptación. También se evaluará la efectividad de los programas de fisioterapia existentes y se propondrán posibles mejoras para garantizar una vida plena en pacientes que dependen de prótesis transtibiales impresas en 3D.

En resumen, el presente trabajo busca contribuir al conocimiento sobre la elaboración y beneficio de prótesis transtibiales impresas con tecnología 3D, así como el papel de la fisioterapia de la preparación de los pacientes para obtener su prótesis (Vargas, 2022).

Una amputación de tren inferior es la eliminación completa o parcial de una extremidad inferior, que puede incluir el pie, el tobillo, la pierna o el muslo. El individuo sometido a esta ablación debe adquirir habilidades para desenvolverse en su vida diaria empleando prótesis y dispositivos adaptativos. Adicionalmente, esta situación puede alterar el esquema corporal, los estados afectivos y emocionales, así como el modo en que la persona se relaciona con su entorno (Bañol, y otros, 2013).

La amputación transtibial es la que se da en miembro inferior y es una remoción completa y definitiva de un fragmento de la extremidad del miembro inferior. Este tipo de amputación se origina por debajo de la rodilla, y que al conservar esta importante articulación le va a permitir al paciente tener una biomecánica buena al momento de ejercer la marcha; conservar la articulación de la rodilla es importante para el paciente dentro de sus condiciones porque es lo que le va a permitir que el paciente tenga mejor deambulacion al momento de utilizar un dispositivo técnico para la marcha.

Al utilizar la prótesis el paciente podrá ejercer una caminata por largos periodos y que su gasto energético sea menor, los amputados transtibiales mantienen una velocidad de la marcha y estabilidad independiente sin ayudas técnicas como muletas casi similares a la de una persona que se encuentra con sus dos extremidades inferiores por lo que le será menos complejo adaptarse a las actividades laborales, cotidianas y recreativas (Espinoza & García, 2014).

La prótesis transtibial hace referencia a un instrumento médico, su utilidad es de forma externa el cual va a prestar soporte y equilibrio correcto al momento que la persona inicie la marcha, con este utensilio el paciente podrá correr saltar y retomar sus actividades, es para personas que han padecido amputaciones por debajo de la rodilla. Este instrumento va a sustituir solamente el miembro inferior que se comprende de la tibia peroné y el pie, puesto que se conserva la articulación de la rodilla (Arguello P, 2018).

En el siguiente apartado, realizamos un análisis de las fuentes principales de impresión 3D y biomecánica del cuerpo para la propuesta de la construcción de un prototipo de prótesis transtibial.

Partiendo de la comprensión de la biomecánica, se ha abordado de diversas maneras. Según Gray & Skandalakis (2016), se define como el análisis de la estructura, función, movimiento y comportamiento mecánico de los sistemas biológicos, utilizando métodos de la mecánica. Desde una perspectiva médica, la biomecánica se centra en el estudio del movimiento humano, la función muscular y su aplicación en diagnóstico, tratamiento y comprensión de prótesis y nuevas tecnologías. Por otro lado, Winter (2009) la define como el examen de la estructura, función y movimiento de los sistemas biológicos, utilizando principios de física, ingeniería y matemáticas.

La idea principalmente fue construir una simulación de prótesis transtibial que permitiera realizar la deambulación y marcha, con ello, poder realizar una adecuada relación entre la eficiencia de los movimientos y la funcionalidad de una pierna sin problemas.

A la hora de crear una prótesis con tecnología 3D, las más complejas de todas son las de la pierna ya que conlleva todo el peso corporal de una persona. La prótesis debe soportar prácticamente todo el peso del cuerpo, incluida la de la pierna con prótesis al momento de realizar la deambulación, esto conlleva a pensar más detenidamente qué tipo de material se debe utilizar para que el paciente se sienta seguro con ella. Así mismo teniendo en cuenta que entre más personalizada sea la prótesis y adaptada al peso de la persona, mejor será la experiencia que tenga el paciente. (Umaña , 2016) .

Es muy importante que se tomen las medidas de la longitud, diámetro del muñón de una amputación transtibial, su necesidad radica en la evaluación y tratamiento de la persona amputada. Además, la medición del muñón debe ser realizada periódicamente para evaluar los cambios en la longitud y circunferencia del muñón, lo que puede afectar la adaptación de la prótesis (United For Colombia, 2022).

La fabricación aditiva mediante impresión tridimensional (3D) es un proceso tecnológico que posibilita la materialización de objetos tridimensionales a partir de un diseño digital. Adicionalmente, la impresión 3D facilita la fabricación a nivel local de prótesis, reduciendo sus costos y posibilitando la personalización según las necesidades individuales del paciente. (CAD), fabricación asistida por computadora (CAM), ingeniería asistida por computadora (CAE) y diseño de circuitos impresos (PCB) en un único entorno.

Los prerrequisitos que pide el diseñador para la fabricación de una prótesis transtibial pueden variar dependiendo del tipo de prótesis y del fabricante o profesional de la salud que la realice. Sin embargo, se considera primero realizar una evaluación del paciente para determinar las necesidades específicas de la prótesis, tomar medidas precisas del muñón del paciente para crear un modelo 3D de la prótesis, diseñar la prótesis en un software de diseño asistido por computadora (CAD) y ajustarla según las necesidades del paciente, seleccionar los materiales adecuados para la prótesis, considerando factores como la resistencia, la durabilidad y el costo.

Con estas comprensiones planteamos el desarrollo del prototipo de prótesis transtibial para el campo de la salud, Ecuador, mantiene una cierta limitante en el desarrollo de proyectos de esta índole y sobre todo en el apoyo al tratamiento de discapacidades físicas y de construcción de industria alrededor del mejoramiento de la salud, por lo que de ahí la importancia de la elaboración del prototipo. En concordancia, el estudio se centró en crear un prototipo de prótesis asequible que permita a las personas con amputaciones transtibiales realizar la deambulación autónoma.

## Metodología

Se llevó a cabo un estudio no experimental, de tipo transversal y explicativo, donde se recopiló información de manera natural, sin intervenir en las respuestas generadas por los instrumentos aplicados. La recolección de datos se realizó en un solo momento durante la investigación y

proporcionó información detallada sobre los pasos para la elaboración de medidas previas al diseño de la prótesis. Se realizó un estudio de caso con un paciente de 26 años que había sufrido una amputación transtibial debido a un traumatismo severo ocasionado por un accidente de tránsito a los 16 años en el sector de El Recreo, al sur de la ciudad de Quito.

El método que se planteó utilizar fue el inductivo respecto a que se dio apertura desde lo específico que fue por medio de un estudio de caso con una persona en específico para que los datos y los prototipos se diseñen específicamente para esa afección.

El estudio de caso incluyó a pacientes jóvenes de 26 años con amputación transtibial y muñón mediano de forma cónica. Se excluyeron pacientes con úlceras por presión, amputaciones en otros niveles que no fueran transtibiales, pacientes pediátricos y aquellos sin muñón cónico.

Las variables de estudio incluyeron la fuerza muscular en el miembro inferior amputado, evaluada mediante la escala de Daniels. Se evaluaron músculos como el psoas ilíaco, glúteo mayor, glúteo medio, glúteo menor, sartorio, cuádriceps (vasto interno, vasto lateral, vasto intermedio y recto femoral), isquiotibiales (semitendinoso, semimembranoso, bíceps femoral), aductor mayor, aductor corto, aductor largo, y tracto iliotibial. También se consideraron medidas antropométricas del muñón, como longitud, diámetro en contracción y relajación, circunferencia, volumen y angulación

### **Procedimiento de recogida y análisis de datos**

El socket fue realizado en base a las medidas antropométricas, el tubo de conexión y pie fueron realizados en base a prototipos ya existentes. El proceso de recolección de datos busca constatar las medidas antropométricas del individuo para realizar un prototipo de prótesis para una amputación transtibial.

Con relación a la construcción de la prótesis transtibial, se realizó una exploración fundamental para ello, los creadores de este prototipo de prótesis transtibial se esforzaron para lograr que se asemeje lo más posible a una prótesis convencional en términos de funcionalidad y que sea más económica. El socket fue realizado en base a las medidas antropométricas del paciente, el tubo de conexión y pie fueron realizados en base a prototipos ya existentes. El material utilizado fue plástico ABS, y el esfuerzo calculado es de 5.48 megapascales (MPa).

## **Resultados**

En este caso, al tratarse de un prototipo de prótesis, se utilizan como base las medidas antropométricas del paciente. Esto nos permite obtener una idea de producción de prótesis con especificaciones generales, lo que resulta en un costo significativamente inferior en comparación con una prótesis personalizada que requieran medidas específicas adaptadas a cada necesidad y tipo de amputación, lo cual implicaría estudios más avanzados.

El proceso de elaboración del prototipo comienza con la evaluación de las medidas antropométricas, asegurándose de que cada diseño en 3D cumpla con medidas específicas. Se ha creado un diseño en 3D utilizando los sistemas que conforman el modelo pasivo, como se detalla en la tabla 1, donde se especifican las medidas de la estructura de la mano.

**Tabla 1**

*Ficha técnica del paciente*

Caracteres	Parámetro	Magnitud o valor
Datos informativos	Genero	masculino
	Edad	26
	Estilo de vida	k3
	Patología	no
Evaluación extremidad residual	Tipo de amputación	transtibial
	Lado de amputación	derecha
	Estabilidad de muñón	10 años
	Condición de la piel	normal con zonas con callosidades
Medidas antropométricas	Masa	76kg
	Altura	167cm
	Altura cóndilo medial	19cm
	Longitud extremidad inf.	85cm
	Longitud de muslo	39 cm
	Test Daniels	4
	Distancia entre rodilla y base de la extremidad residual	16cm
	Altura de la articulación de la rodilla	42 cm

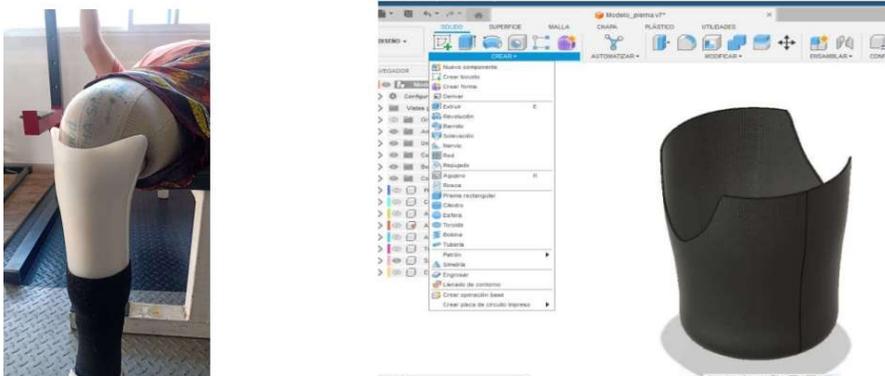
**Nota:** Macías Avilez, D. T., & Villacres Montesdeoca, D. R. (2023). *Diseño de un prototipo de prótesis manufacturada con tecnología 3D en amputación transtibial* [Tecnológica]. Instituto Compus Sur.

El diseño en impresión 3D se han complementado con diversas piezas que sirven de manera directa en la movilidad del sistema de la prótesis entre esas la más importante que es el socket, la función de este ayudará a que se coloque dentro el muñón, es así que se constituye por tubo de conexión y pie sach para así formar palanca con la articulación de la rodilla y ayudar a la deambulación (Figura 1a-b).

Durante la fase de colocación de la prótesis en el paciente, el modelo puede resistir cargas de hasta 70 kg. Se ha considerado el ciclo de la marcha, que incluye tanto el apoyo en una sola pierna como en ambas alternativamente. Asimismo, la prótesis se ajusta a las necesidades del paciente, teniendo en cuenta tanto el tratamiento de fisioterapia antes de la colocación como el que se llevará a cabo después, asegurando así su óptimo rendimiento y adaptación.

**Figura 1.**

*Socket. a) Modelo de prótesis para el paciente , b) Modelo de prótesis en la zona de la rodilla*



**Nota:** Macías Avilez, D. T., & Villacres Montesdeoca, D. R. (2023). *Diseño de un prototipo de prótesis manufacturada con tecnología 3D en amputación transtibial*

El proyecto tuvo un resultado positivo al momento de crear un prototipo de prótesis al probarlo en el paciente, sin embargo, solo fue utilizada para comprobar la descarga de peso y adaptación de esta. Parte sustancial de la construcción fue la incorporación de tecnología que permita la creación de una prótesis a bajo costo, cabe recalcar que cada prótesis es realizada en base a las mediciones antropométricas de cada paciente, lo cual es una limitación que este no se puede ajustar en tamaño,

lo que limita el uso de las personas. Los resultados del estudio mostraron que el prototipo tiene potencial, pero presenta las siguientes limitaciones técnicas:

1. **Especificidad:** El prototipo está diseñado solo para pacientes con amputación transtibial. Esto significa que los pacientes con amputaciones en otros niveles no pueden utilizarlo, ya que no se adapta correctamente.
2. **Flexibilidad:** El prototipo no es lo suficientemente flexible para adaptarse a pacientes con enfermedades neurológicas espásticas. La rigidez de la prótesis dificulta su colocación y uso en estos pacientes.
3. **Tamaño:** El prototipo debe ser personalizado en base a las medidas antropométricas de cada paciente, no es una prótesis con medidas estándar para cualquier persona.
4. **Soporte:** El peso que soporta la prótesis es limitado por lo cual el paciente debe adaptarse al peso que tolera la prótesis.

## Discusión y Conclusiones

A lo largo de la historia, ha existido una constante necesidad de desarrollar sistemas de apoyo para la rehabilitación de miembros, lo cual ha impulsado un notable avance en la creación de prótesis. La medicina ha desempeñado un papel crucial en este proceso, gracias a sus características terapéuticas que permiten el desarrollo de tratamientos efectivos para una variedad de problemas.

Entre las condiciones más afectadas se encuentran las amputaciones de miembros inferiores, debido a su importancia funcional y a la fragilidad biomecánica al caminar. Por lo tanto, surge la necesidad de diseñar prótesis transtibiales que sean tanto funcionales como asequibles, para mejorar la calidad de vida de este grupo específico de personas.

Nuestra propuesta se centra en la creación de un prototipo de prótesis transtibial que garantice la funcionalidad y sea accesible en términos de costo. Para su construcción, hemos utilizado tecnología de impresión 3D con material plástico ABS. Se ha calculado un esfuerzo de 5.48 Megapascuales (MPa) para los componentes clave, como el socket, el tubo de conexión, el

componente de apoyo y la cubierta. Estos movimientos del dispositivo contribuirán a mejorar la capacidad de deambulación del paciente.

El prototipo ha sido sometido a pruebas con éxito, soportando hasta 70 kg de peso corporal. Se ha tenido en cuenta el ciclo de la marcha, alternando entre apoyo unipodal y bipodal. Además, la prótesis es adaptable al paciente, considerando tanto el tratamiento fisioterapéutico previo como el posterior, para una adecuada adaptación y funcionamiento de esta.

## Referencias

- Arguello P, V. (2018). Evaluación de la calidad de vida relacionada con el uso protésico mediante la aplicación de prosthesis. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Amputats Sant Jordi. (2021). El Muñon. Obtenido de Amputats Sant Jordi: <https://www.amputats-santjordi.org/es/elmunon#:~:text=El%20mu%C3%B1%C3%B3n%20hace%20referencia%20a,revestimiento%20cut%C3%A1neo%20est%C3%A1%20bien%20nutrido.>
- Autodesk. (2023). Autodesk. Obtenido de <https://www.autodesk.com/products/fusion360/free-trial>
- Bañol , S., Briceño, D., Cuervo , A., Parra , S., Rodríguez , A., & Rojas , M. (2013). Paciente amputado de miembro inferior: necesidades físicas, emocionales y sociales insatisfechas. Obtenido de universidad de ciencias de la salud: [file:///C:/Users/redmi/downloads/admin,+gestor\\_a+de+la+revista,+7.+art%3%adulos+originales+paciente+amputado+de+miembro+inferior+-+necesidades+f%3%8dsicas,+emocionales+y+sociales+insatisfechas.pdf.pdf](file:///C:/Users/redmi/downloads/admin,+gestor_a+de+la+revista,+7.+art%3%adulos+originales+paciente+amputado+de+miembro+inferior+-+necesidades+f%3%8dsicas,+emocionales+y+sociales+insatisfechas.pdf.pdf)
- Barberan , M., & Chela , J. (2021). Prótesis impresas en 3D y aplicativo móvil de geolocalización: caso de estudio novus spem. Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20293/1/UPSGT003216.pdf>
- Contreras, L. (2022). Las prótesis impresas en 3D, ayudan gracias a las nuevas tecnologías. Obtenido de 3D Natives: <https://www.3dnatives.com/es/protesis-impresas-en-3d100420182/>
- Criollo, F. (2022). Tipos y causas de amputación. Obtenido de <https://romptemueve.org/amputacion-tipos-y-causas/>

- Espinoza, M. J., & García, D. (2014). Niveles de amputación en extremidades inferiores: repercusión en el futuro del paciente. *Elsivier*, 25(2), 276-280.
- Gallardo , S. (2018). Diseño y fabricación de Socket transtibial para prótesis de extremidad inferior. Obtenido de Universidad de concepción: [http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/358/1/Tesis\\_Dise%C3%B1o\\_y\\_fabricacion\\_de\\_Socket.Image.Marked.pdf](http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/358/1/Tesis_Dise%C3%B1o_y_fabricacion_de_Socket.Image.Marked.pdf)
- Gallardo , S. (2018). Diseño y fabricación de Socket transtibial para prótesis de extremidad inferior. Obtenido de Universidad de Concepción: [http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/358/1/Tesis\\_Dise%C3%B1o\\_y\\_fabricacion\\_de\\_Socket.Image.Marked.pdf](http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/358/1/Tesis_Dise%C3%B1o_y_fabricacion_de_Socket.Image.Marked.pdf)
- Kapandji, A. I. (2012). *Fisiología Articular Tomo 2. Miembro inferior*. Panamericana.
- Latarjet, M., & Ruiz, A. (2023). *Anatomía Humana Tomo II*. Editorial Médica Panamericana.
- Martini, Frederic, H., Timmons, & Michael, J. (2009). *Anatomía Humana*. Pearson Education.
- Payares , K., Plata , J., & Matamoros, A. (2020). Pruebas y escalas de valoración funcional en el seguimiento a la adaptación protésica en personas con amputación de miembro inferior. Obtenido de Universidad de Antioquia: [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/16631/3/MatamorosAdolfo\\_2020\\_ValoracionFuncionalAmputados.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/16631/3/MatamorosAdolfo_2020_ValoracionFuncionalAmputados.pdf)
- Pazmiño , A., Median, E., Jacome , J., & Pazmiño , E. (2022). Fabricación de una prótesis transradial para infantes impresa en 3D. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8483005.pdf>
- Piqueras, F. (2018). Prótesis de pierna de bajo coste gracias a la impresión 3D. Obtenido de TRSD: <https://impresiontresde.com/protesis-pierna-coste-gracias-la-impresion-3d/> Real Academia de la Lengua Española. (2022). *Diccionario de la lengua*.
- Umaña, J. ( 2016). ErgoTEC usa impresión 3D y novedosos métodos para hacer prótesis mejores y más baratas. Obtenido de Tec: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2016/11/30/ergotec-usa-impresion-3d-novedososmetodos-hacer-protesis-mejores-mas-baratas>
- Vargas , J. (2022). diseño de prótesis con tecnología 3D. scribd. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/648740474/Protesis-3D>
- Zambudio Periago, R. (2009). *Prótesis, ortesis y ayudas técnicas*. Elsevier.

Copyright (2024) © Ronald Steven Veloz Pastrano, Estefany Michelle Morales Fernández

Este texto está protegido bajo una licencia internacional Creative Commons 4.0.



Usted tiene libertad de Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material—para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de Atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) – [Texto completo de la licencia](#)