

---

**Avances tecnológicos en desarrollo de prótesis inteligentes. Revisión de la Literatura**

---

José Segundo Niño Montero <sup>1,2</sup>, Dr. Mariano Quino Florentini <sup>3,4</sup>, Erick Rafael Camilo Taipe Carrión <sup>5</sup>, Lic. César Angulo Calderón<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Editor Jefe de la Revista Médica Carriónica

<sup>2</sup> Docente Principal Facultad de Medicina - UNMSM, Lima - Perú.

<sup>3</sup> Médico Asistente, Servicio de Gastroenterología, Hospital Nacional “Dos de Mayo”, Lima – Perú.

<sup>4</sup> Docente Asociado Facultad de Medicina - UNMSM, Lima - Perú.

<sup>5</sup> Estudiante Pre Grado Facultad de Ingeniería de Sistemas UNMSM, Lima – Perú

<sup>6</sup> Docente Auxiliar Facultad de Ingeniería de Sistemas UNMSM, Lima – Perú

---

**RESUMEN**

La investigación abordada en este artículo de revisión de la literatura intenta cubrir la necesidad de información acerca de las prótesis de miembros superiores que permitan mejores funciones con respecto al quehacer diario. Para lo cual investigaremos diferentes tecnologías que ayuden al desarrollo de una prótesis funcional y cosmética de respuesta dinámica que sean manipuladas por señales encefalográficas o musculares.

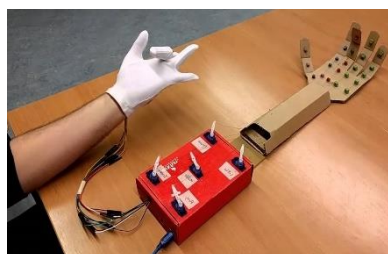
Las discapacidades en miembros inferiores o superiores son uno de los factores más importantes que dificultan la realización de actividades del día a día, alguno de estos incluso la impiden. Sin embargo, durante los últimos años se han visto atisbos de desarrollo en tecnologías que apoyen a personas con estos problemas o discapacidades, entre los cuales los más importantes son el desarrollo de prótesis ortopédicas. Una prótesis es un mecanismo usado para reemplazar alguna parte del cuerpo, o incluso mejorarlos.

También hemos observado un mayor uso de tecnologías aplicables en distintos campos tanto de ingeniería como de medicina, como lo son las impresiones de tres dimensiones las cuales tienen tanto alcance y que ahora por su menor coste para su obtención pueden ser usadas tanto en investigaciones y desarrollo de soluciones a problemas como el expuesto.

**Palabras Clave:** Prótesis de miembros superiores, señales encefalográficas, señales musculares, impresiones de tres dimensiones

**ABSTRACT**

The research addressed in this literature review article attempts to cover the need for information about upper limb prostheses that allow better functions with respect to daily tasks. For which we will investigate different technologies that help the development of a functional and cosmetic dynamic response prosthesis that are manipulated by encephalographic or muscular signals.



Disabilities in lower or upper limbs are one of the most important factors that hinder the performance of day-to-day activities, some of which even prevent it. However, during recent years there have been glimpses of development in technologies that support people with these problems or disabilities, among which the most important are the development of orthopedic prostheses. A prosthesis is a mechanism used to replace some part of the body, or even improve it.

We have also observed a greater use of applicable technologies in different fields of both engineering and medicine, as are three-dimensional impressions which are so far reaching and that now, because of their lower cost, can be used both in research and development of solutions to problems like the one exposed.

**Key words:** Upper limb prostheses, encephalographic signals, muscle signals, three dimensional impressions

## **ANTECEDENTES**

### **Ámbito Internacional**

En este punto de la investigación nos enfocaremos en diferentes avances tecnológicos hecho a nivel internacional y nacional en desarrollo de prótesis inteligentes, así como los antecedentes en sus distintas regiones.

Se han encontrado diferentes avances de prótesis inteligente que hacen uso de diferentes fuentes de señales. Dentro de las cuales la más representativa en novedades tecnológicas es la prótesis Luke la cual fue desarrollada por Deka para la agencia militar DARPA, es la prótesis más avanzada que han construido hasta ahora. Después de varios años en desarrollo, recientemente se han comenzado a implantar las primeras unidades finales de la nueva versión, que proporciona destreza manual de hasta 18 grados de libertad a pacientes con amputaciones hasta el hombro.



**Figura 1: “Prótesis Luke”  
(Fuente: TecReview)**

Este avance viene a ser uno de los mejores proyectos en esta área que se han dado a nivel internacional, la cual ya cumplió con la aprobación de la FDA en 2014.

### Ámbito Nacional

Según datos del Instituto nacional de estadísticas e informática (INEI) del censo realizado en el año 2017 se evidencia que del total de la población de los peruanos personas un 2.6% presentan alguna discapacidad para moverse o caminar para usar usando brazos y piernas, esto supone una cantidad de aproximadamente 763 109 personas.

**Tabla 1.1: “Índice de personas con discapacidad para moverse o para usar brazos y piernas”**

(Fuente: INEI - Censo de Población y Vivienda 2017)

Población	Casos	Porcentaje	Acumulado
No tiene discapacidad para moverse o caminar para usar brazos y piernas	28 618 775	97,40%	97,40%
Sí tiene discapacidad para moverse o caminar para usar brazos y piernas	763 109	2,60%	100,00%
<b>Total</b>	29 381 884	100,00%	100,00%

Sin embargo, durante los últimos años se han visto atisbos de desarrollo en tecnologías que apoyen a personas con estos problemas o discapacidades, entre los cuales los más importantes son el desarrollo de prótesis ortopédicas. Una prótesis es un mecanismo usado para reemplazar alguna parte del cuerpo, o incluso mejorarlos.

También hemos observado un mayor uso de tecnologías aplicables en distintos campos tanto de ingeniería como de medicina, como lo son las impresiones de tres dimensiones las cuales tienen tanto alcance y que ahora por su menor coste para su obtención pueden ser usadas tanto en investigaciones y desarrollo de soluciones a problemas como el expuesto.

Como antecedente a esta investigación tenemos otro proyecto que, en un principio, se quería investigar la aplicación de señales encefalográficas en la manipulación de una prótesis virtual que era manipulado haciendo uso como intermediario entre la persona un hardware (Casco Emotiv®) para la obtención de estos datos.

Dentro de los avances tecnológicos visto en ámbito nacional tenemos múltiples StartUps que intentan sacar al mercado prótesis funcionales biónicas, pero con

un menor costo en promedio con respecto a las demás prótesis convencionales de la misma naturaleza.

Dentro del ámbito nacional podemos observar una gran demanda de prótesis inteligentes que ayuden a realizar funciones cotidianas de personas, sobre todo de prótesis de miembros superiores. Se observa también que los desarrollos sobre prótesis a nivel internacional son avanzados y buscan la versatilidad de esta misma con respecto al usuario, de forma que puedan proporcionarle una retroalimentación de la funcionalidad de la prótesis para que este pueda saber si esta funcional de la manera que se desea.

A partir de estos datos revisados, como proyecto de Ingeniería de Software abordaremos e identificaremos la construcción de un de software que pueda manejar y configurar las señales mioeléctricas y señales encefalográficas que rescata la prótesis inteligente, así como la visualización de estas; todo esto con el fin de dar una mejor funcionalidad a las prótesis de acuerdo a la necesidad de cada usuario intentando dar solución a:

- Altos costos con respecto al servicio de creación y configuración de prótesis.
- Necesidad de una interfaz para visualizar información para la configuración de prótesis.
- Otro problema que se resuelve, no tan evidente, pero si importante, es la falta de investigación en desarrollo de prótesis con nuevas tecnologías en el Perú.

Debido a esto, las personas que sufren o han sufrido pérdidas de miembros superiores se ven limitadas en el qué hacer de su día a día y por eso hacen uso de prótesis sencillas y estéticas, que ayudan retomar su vida cotidiana, siendo la mayoría de estas prótesis no inteligentes y las que sí lo son no otorgan toda la funcionalidad que requieren sus usuarios o son necesarios ajustes en sus movimientos lo cual dificulta lograr actividades básicas del ser humano.

Entre las distintas limitaciones una de las más importantes que afecta al proyecto de construcción de un de software que pueda manejar y configurar las señales mioeléctricas y señales encefalográficas es el bajo conocimiento de la población peruana con respecto a las prótesis y sus desarrollos en el Perú, y en caso de conocerlos por algunos, esta información no es muy difundida. Dentro del alcance que proponemos tenga el proyecto momentáneamente, no es a todos los que sufran de discapacidades, sino solo al menor número de pacientes suficientes que puedan contribuir a las pruebas del sistema y la prótesis. Esto para enfocarnos dentro del tipo de prótesis que queremos realizar y realizar una solución más específica y correcta.

Las limitaciones que se presentan son las complicaciones de implementación del sistema en prototipos reales comunes, debido a que la mayoría de estos no están hechos con el diseño necesario para poder funcionar con este mismo.

También una limitación actual es el escaso uso e investigación de nuevas tecnologías para el desarrollo de prótesis en el Perú, evidenciado en bajos números de proyectos desarrollados respecto a este tema y a su solución planteada como tal.

Por último, la limitación más importante es que este proyecto abarca un gran número de aspectos tecnológicos y áreas de conocimientos, los cuales no serán satisfechos en un corto plazo por un número mínimo de personas, como los son los aspectos relacionados al área de salud o de Mecatrónica (aunque puede mitigarse con investigación adicional), entre otros.

Debido a que haremos uso de hardwares específicos las limitaciones técnicas variarán dependiendo de las herramientas que estos utilicen, así como el lenguaje que usan o como el tipo de formato de datos.

## **MARCO TEÓRICO**

### **Prótesis**

Según la AOFAS (American Orthopedic Foot & Ankle Society) el cual es una sociedad de especialidades médicas fundada en 1969 compuesta por más de 2,200 cirujanos ortopédicos (MD y DO) de los EE. UU, la define de la siguiente manera:

“Una prótesis es una herramienta que se utiliza para que una persona compense la pérdida de una parte de su cuerpo. Por ejemplo, luego de la amputación de una pierna, se puede colocar una pierna artificial, o prótesis. Esto permitirá que la persona pueda caminar”

Tipos de prótesis:

Una prótesis hasta podría funcionar como relleno en un zapato por una amputación parcial del pie o un dedo, o puede ser una pierna protésica completa por una amputación por encima de la rodilla. Hay muchas maneras de clasificarlas debido a su funcionalidad, a la parte del cuerpo que reemplaza o apoya, o por el material por el que están hechas.

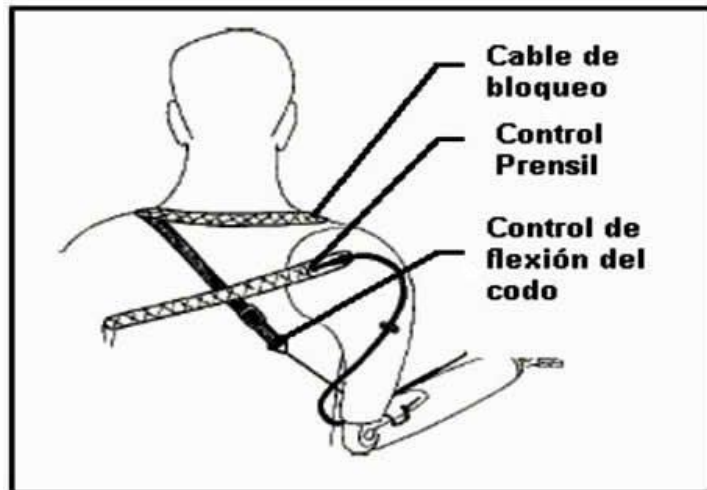
Además de también poderse clasificar por su complejidad con la llegada de prótesis inteligentes en comparación con las mecánicas que resultan ser las más comunes.

Según Jens Muller, un ortopédico alemán al igual que colaborador docente para la UCM, Universidad Camilo José Cela e Instituto Ausias March entre otros (España) clasifica las prótesis en diversos tipos:

### **Prótesis mecánica**

Son prótesis con dispositivos de apertura y cierre mediante cables y cintas de sujeción unidos al cuerpo y se abren o cierran a voluntad por la tracción ejercida por el tensor.

Este tipo de prótesis son funcionales, pero con limitaciones de movimientos, ya que necesitan de la energía propia y obligan a hacer movimientos de tensión para su funcionalidad, controlado mediante correajes que hacen las funciones de la mano y el codo a través de los movimientos del muñón y del hombro.



**Figura 2: “Ejemplo de prótesis mecánica y sus partes”  
(Fuente: Revista UNAM)**

### **Prótesis mioeléctricas**

Los sensores incorporados a las prótesis leen las corrientes eléctricas que envían las contracciones musculares, pudiendo mediante los mismos y con los componentes adecuados, controlar tanto el movimiento de la mano, como los del codo y la muñeca.

Importante, sobre todo en las prótesis mioeléctricas dado el peso de las mismas, es la correcta fabricación del encaje que conjugue la sujeción necesaria con la comodidad del usuario y la movilidad adecuada, para lo cual confeccionamos encajes internos de silicona a medida que consiguen el contacto total tanto con el muñón como con el encaje rígido externo. El encaje es el componente de la prótesis que contiene al muñón y a través del cual se realiza la descarga. También se lo llama cono o cuenca de enchufe, es rígido y se confecciona a medida.

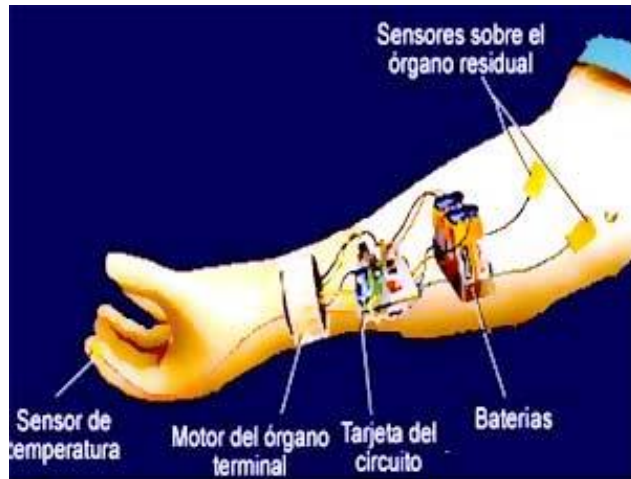


Figura 2: “Ejemplo de prótesis mioeléctrica y sus partes”  
(Fuente: Revista UNAM)

### Prótesis cosméticas

También llamadas prótesis estéticas, son aquellas que fueron desarrolladas con el objetivo de reemplazar un miembro o parte de él, teniendo en cuenta más su parte estética que su funcionalidad.



Figura 3: “Ejemplo de prótesis cosmética de silicona”  
(Fuente: Protésica)

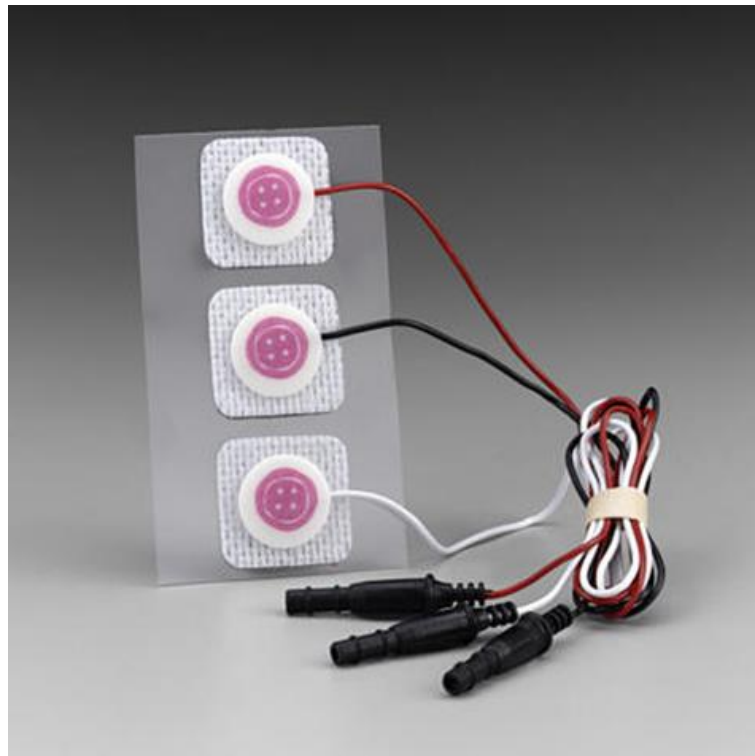
### SENSORES

#### Sensores mioeléctricos (señales EMG)

Tienen la capacidad de detectar el impulso eléctrico de un músculo, y por medio de un acondicionamiento de señal, amplificación y filtrado se interpreta una orden. En un movimiento natural siempre hay un músculo dominante, midiendo su impulso eléctrico podemos indicarle al exoesqueleto lo que deseamos hacer.

Por ejemplo, bastará aplicar un esfuerzo sobre un músculo dotado de electrodos para indicar que queremos dar un paso con la pierna derecha, el algoritmo de un software se encargará de colocar en la posición correcta los servomotores secuencialmente hasta completar la tarea. Luego dependerá de nosotros dar un paso con la pierna izquierda, para ello debemos activar la secuencia que hará avanzar un paso la pierna izquierda emitiendo esta orden con la contracción de otro músculo.

Esta técnica requiere de adiestramiento del individuo para aprender a controlar los servomecanismos con su cuerpo.



**Figura 4: “Ejemplar de sensor mioeléctrico”  
(Fuente: Protésica)**

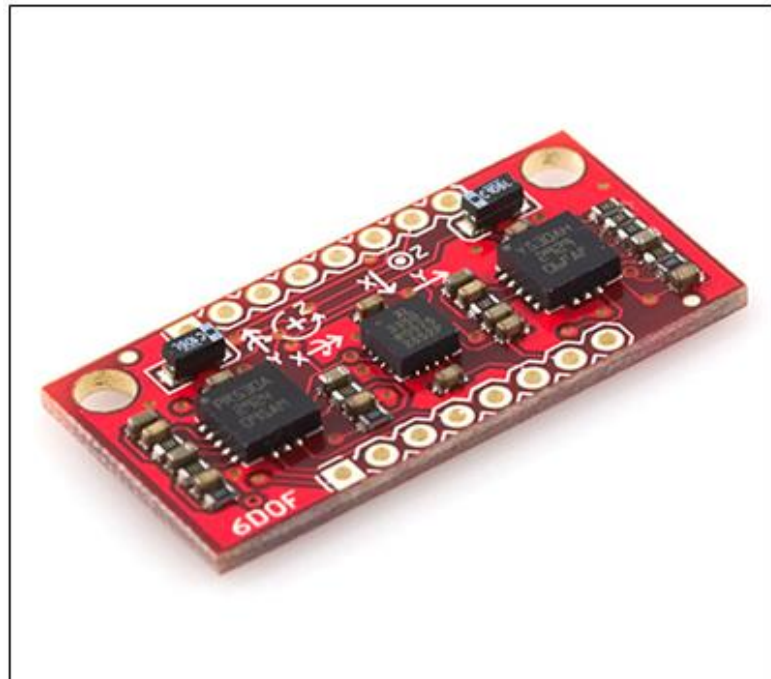
### **Sensores inerciales IMU**

Un sensor inercial IMU, es un dispositivo compuesto por acelerómetros, que miden aceleración, y giróscopos que miden cantidad de giro. Son frecuentes en aviones no tripulados, ya que estos se encargan en todo momento de la estabilidad de la aeronave.

Si podemos conocer la orientación del cuerpo del individuo, contamos con una herramienta más para dar órdenes al exoesqueleto asociando grados de inclinación, la contracción de otro músculo o la combinación de dos, por ejemplo, los mismos que usamos para emitir las órdenes de caminar izquierda y derecha, y un temporizador. Es decir que damos las condiciones para indicar



al exoesqueleto que queremos sentarnos el software activará la secuencia que hará que nos sentemos en una silla o el sofá. ¿Y si ya estamos sentados? pues él lo sabrá y comenzará la secuencia para ponernos de pie. De la misma manera con otros tipos de combinaciones podemos indicarle que nos encontramos con escalones para cambiar la secuencia de avanzar en plano a subir escaleras. Otra cosa mucho más importante pero que requiere de un algoritmo dedicado exclusivamente a ello es la posibilidad de dotar de equilibrio autónomo al exoesqueleto, pero requiere de mayor cantidad de grados de libertad de movimiento para poder realizarlo. Cosa que escapa de este proyecto. No obstante, será la evolución obligada a versiones posteriores.



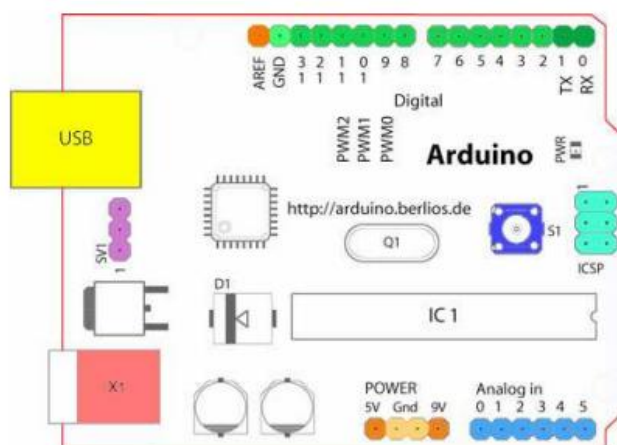
**Figura 5: “Ejemplar de sensor inercial”  
(Fuente: Protésica)**

### **Microcontrolador ARDUINO**

Arduino es una plataforma libre de computación de bajo coste basada en una placa de entrada-salida y en un entorno de desarrollo IDE que implementa el lenguaje Processing/Wiring Hardware. Arduino se puede usar para desarrollar objetos interactivos automáticos o conectarse a software en el ordenador.

- ✓ Hardware: La placa es una placa de circuito impreso donde va instalado el microprocesador, la memoria, las conexiones de entrada y salida y la conexión para el puerto usb.
- ✓ Botón de Reset: Permite resetear el programa y permite cargar uno nuevo.

- ✓ Puerto USB: A través de él se cargan las instrucciones a ejecutar, el programa que es realizado en el entorno de programación de arduino. Comunicación Arduino-Ordenador.
- ✓ Microprocesador: Realiza las instrucciones almacenadas en el programa de forma cíclica. Es un circuito integrado que contiene muchas de las mismas cualidades que una computadora. Escribe en los pines DE2-13 y lee en los DE2-13 AE0-5.
- ✓ Pines de entrada y salida: Permiten conectar elemento que dan información y crean actuaciones.



**Figura 6: “Datasheet de un microcontrolador Arduino”**  
(Fuente: Protésica)

## TECNOLOGÍA UTILIZADA

### Interfaces Cerebro-Computador

Constituyen una tecnología que se basa en la adquisición de ondas cerebrales para luego ser procesadas e interpretadas por una máquina u ordenador. Establecen un nuevo camino para interactuar con tecnología mediante nuestro pensamiento, ya que estas interfaces permiten transformarlo en acciones reales en nuestro entorno.

Para la decisión de cuál tecnología haremos empleo para la detección de señales encefalográficas tenemos muchas opciones en el mercado: NeuroSky, Emotiv, Musse, etc. ¿Pero cuál opción es la correcta o dicho de mejor forma cual es la que más adecuada es con respecto a la categoría del proyecto de investigación actual? Emotiv es una empresa que ofrece dispositivos para señales EEG, dispone de una mejor eficacia y precisión con respecto a los datos.

### EMOTIV

Es una empresa privada de bioinformática y tecnología que desarrolla y fabrica productos de electroencefalografía (EEG), aplicaciones móviles y productos de

datos. Fundada en 2011 por Tan Le y Geoff Mackellar, la compañía tiene su sede en San Francisco, Estados Unidos, con instalaciones en Sydney, Hanoi y Ciudad Ho Chi Minh.



#### **SIMPLE**

Always stay up to date with our SDK while using Cortex



#### **COMPATIBILITY**

Mac & Win support, iOS & Android coming soon



#### **LANGUAGE SUPPORT**

Java, C#, C++, Python, Ruby, NodeJS, PHP and more



#### **BASIC UI**

Connecting headset, contact quality and more

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. [https://www.researchgate.net/publication/299343988\\_Consumer-grade\\_EEG\\_devices\\_Are\\_they\\_usable\\_for\\_control\\_tasks](https://www.researchgate.net/publication/299343988_Consumer-grade_EEG_devices_Are_they_usable_for_control_tasks)
2. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-82612016000200099&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612016000200099&lng=en&tlng=en)