



UNIVERSIDAD DE BURGOS  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Grado en Ingeniería de la Salud



INGENIERÍA  
DE LA SALUD

**TFG del Grado en Ingeniería de la  
Salud**

**Título del trabajo**

Presentado por Pepe Pérez  
en Universidad de Burgos

8 de abril de 2025

Tutores: Tutor 1 – Tutor 2







UNIVERSIDAD DE BURGOS  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Grado en Ingeniería de la Salud



D. Tutor 1, profesor del departamento de departamento, área de área.

Expone:

Que el alumno D. Pepe Pérez, con DNI 123456A, ha realizado el Trabajo final de Grado en Ingeniería de la Salud titulado título del trabajo.

Y que dicho trabajo ha sido realizado por el alumno bajo la dirección del que suscribe, en virtud de lo cual se autoriza su presentación y defensa.

En Burgos, 8 de abril de 2025

Vº. Bº. del Tutor:

Vº. Bº. del Tutor:

D. Tutor 1

D. Tutor 2





## Resumen

En este primer apartado se hace una **breve** presentación del tema que se aborda en el proyecto.

## Descriptores

Palabras separadas por comas que identifiquen el contenido del proyecto Ej: servidor web, buscador de vuelos, android ...

### **Abstract**

A **brief** presentation of the topic addressed in the project.

### **Keywords**

keywords separated by commas.



---

# Índice general

---

Índice general	iii
Índice de figuras	v
Índice de tablas	vi
Introducción	1
Objetivos	3
Conceptos teóricos	5
3.1. Stents . . . . .	5
3.2. Biosensores . . . . .	9
3.3. Materiales inteligentes . . . . .	10
3.4. Sistemas de alimentación . . . . .	10
3.5. Estado del arte y trabajos relacionados. . . . .	13
Metodología	15
4.1. Revisión bibliográfica . . . . .	15
4.2. Descripción de los datos. . . . .	15
4.3. Técnicas y herramientas. . . . .	15
Resultados	17
5.1. Resumen de resultados. . . . .	17
5.2. Discusión. . . . .	17
Conclusiones	19
6.1. Aspectos relevantes. . . . .	19

<b>Lineas de trabajo futuras</b>	<b>21</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>23</b>

---

# Índice de figuras

---

3.1. Imagen de una endoprótesis [Centro Médico ABC, 2025]	5
3.2. Imagen de una endoprótesis [Ostos, ]	7
3.3. Pie de la figura de la figura bla bla bla	12

---

## Índice de tablas

---

3.1. . . . . .	13
4.1. Ventajas y Desventajas de los Stents Metálicos Convencionales, Stents Recubiertos de Polímeros Biodegradables (DES) y Andamios Biodegradables (BRS). . . . .	16

---

# Introducción

---

Este trabajo surge a partir de lo aprendido durante las prácticas realizadas en 3º Ingeniería de la Salud en el departamento de Cirugía Vascular en el Hospital Universitario de Burgos (HUBU). En la actualidad, las enfermedades cardiovasculares son una de las primeras causas de muerte tanto a nivel mundial como en España[Alianza, ].

La implantación de los stents es uno de los tratamientos más empleados para tratar enfermedades como la estenosis, aneurismas, isquemias entre otras. A pesar de ello, estos dispositivos presentan algunas limitaciones como la aparición de reestenosis y trombosis , además de la falta de monitorización.

Por lo tanto, este proyecto se va a centrar en el diseño de un stent inteligente basado en reguladores que mejore dichas limitaciones.



---

# Objetivos

---

Objetivos principales del trabajo realizado.

Este apartado explica de forma precisa y concisa cuales son los objetivos que se persiguen con la realización del proyecto. Se puede distinguir entre:

1. Los objetivos marcados por los requisitos del software/hardware/análisis a desarrollar.
2. Los objetivos de carácter técnico, relativos a la calidad de los resultados, velocidad de ejecución, fiabilidad o similares.
3. Los objetivos de aprendizaje, relativos a aprender técnicas o herramientas de interés.





---

## Conceptos teóricos

---

### 3.1. Stents

Un **stent** o **endoprótesis** es un dispositivo médico compuesto por una malla metálica en forma tubular, diseñado para ser implantado en el interior de estructuras huecas del cuerpo, como vasos sanguíneos o conductos (por ejemplo, úreter que transporta la orina), con el fin de mantener dichas estructuras abiertas y evitar obstrucciones[[Instituto Nacional del Corazón, 2024](#)].

Para la detección y localización de obstrucciones arteriales, se emplea la técnica de arteriografía, un método de diagnóstico por imagen, que permite visualizar el interior de las arterias mediante la introducción de un medio de contraste y el uso de rayo X. Esta técnica resulta fundamental para determinar la ubicación y el grado de la obstrucción, y así planificar el

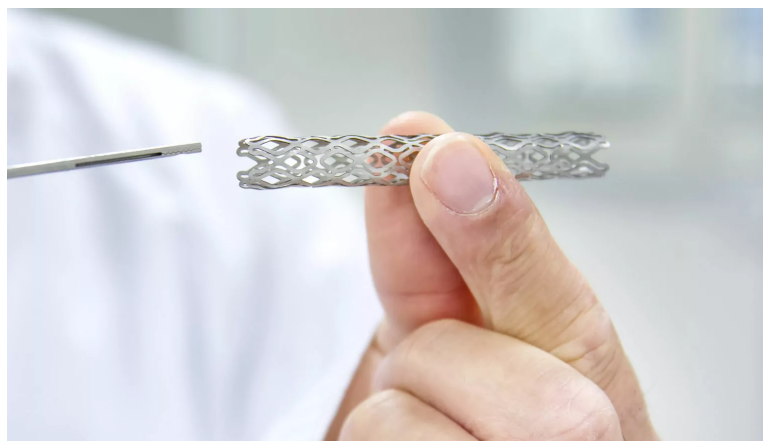


Figura 3.1: Imagen de una endoprótesis [[Centro Médico ABC, 2025](#)]

tratamiento adecuado. Aunque existen otras técnicas diagnósticas, como la ecografía Doppler, la tomografía computarizada (Angio-TAC) o la resonancia magnética (Angio-RM), la arteriografía sigue siendo la más utilizada en el contexto clínico cuando se requiere una visualización detallada y precisa del sistema arterial [Salmerón Febres et al., 2011].

Existen procedimientos médicos para la colocación del stent, siendo la angioplastia el método más utilizado en la práctica clínica actual. Esta es una técnica mínimamente invasiva cuyo objetivo es restaurar el flujo sanguíneo en arterias que se encuentran estrechadas u ocluidas. Detrás de esta, se distinguen dos modalidades:

- **Angioplastia con balón:** se emplea un catéter que contiene un pequeño globo en su extremo. Una vez que el catéter alcanza la zona de la obstrucción, el globo se infla, comprimiendo la placa arterioesclerótica <sup>1</sup> contra la pared arterial permitiendo así la expansión del stent.
- **Angioplastia sin balón:** se emplean stents autoexpandibles como los fabricados con aleaciones de Nitinol, los cuales se despliegan automáticamente al ser liberados en el interior de la arteria, adaptándose a la anatomía del vaso.

Otra técnica para la colocación del stent es la cirugía abierta. Este procedimiento es menos frecuente y se utiliza en casos donde la angioplastia no es viable, ya sea por riesgos clínicos elevados, anatomía compleja del paciente o fallos previos en intentos de angioplastia. Al tratarse de una intervención quirúrgica mayor, la recuperación es más prolongada. [Salmerón Febres et al., 2011]

### 3.1.1. Tipos de stents

Los stents se pueden clasificar según su recubrimiento o función y según el mecanismo de expansión: [Borhani et al., 2018]

**Según el recubrimiento o función:**

- **Stents metálicos:** compuestos por acero inoxidable o cromo-cobalto, sin recubrimiento adicional. Fueron los primeros en utilizarse de forma generalizada en la práctica clínica.

---

<sup>1</sup>**placa arterioesclerótica:** acumulación de sustancias como colesterol, grasas, calcio y otras células en las paredes internas de las arterias, lo que provoca su estrechamiento y endurecimiento.

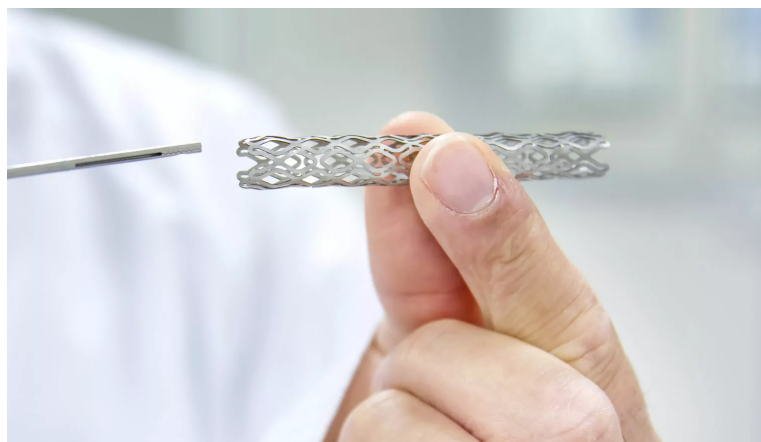


Figura 3.2: Imagen de una endoprótesis [Ostos, ]

- **Stents farmacoactivos (SFA):** incorporan una cubierta de polímero que permite la liberación controlada de fármacos antiproliferativos para prevenir reestenosis<sup>2</sup> en el stent. Estos pueden tener polímero permanente o polímero biodegradable.
  - **SFA con polímero permanente:** utilizan un recubrimiento que no se degrada, liberando el fármaco durante un tiempo determinado.
  - **SFA con polímero biodegradable:** utilizan un recubrimiento que se degrada gradualmente con el tiempo, liberando el fármaco de manera controlada mientras se degrada. La principal diferencia es que, al degradarse, el polímero biodegradable reduce los efectos adversos que podrían generar los polímeros permanentes, como inflamación o reacciones alérgicas.
- **Andamios biodegradables:** son stents que ofrecen soporte temporal a la arteria ocluida y se biodegradan por completo tras el cumplimiento de su función. Los materiales utilizados son polímeros con biocompatibilidad y biorresorción<sup>3</sup>, reduciendo los efectos adversos.

---

<sup>2</sup>**reestenosis:** acumulación de sustancias como colesterol, grasas, calcio y otras células en las paredes internas de las arterias, lo que provoca su estrechamiento y endurecimiento.

<sup>3</sup>**biorresorción:** acumulación de sustancias como colesterol, grasas, calcio y otras células en las paredes internas de las arterias, lo que provoca su estrechamiento y endurecimiento.

**Según el mecanismo de expansión:**

Los stents emplean dos mecanismos fundamentales para su expansión, cada uno con características y técnicas específicas. El primer tipo, conocido como stent con balón, se implanta a través de la técnica de angioplastia con balón. Este proceso permite que el stent se expanda de forma gradual manteniendo la arteria abierta y reestableciendo el flujo sanguíneo normal.

En cambio, los stents autoexpandibles se colocan mediante una técnica de angioplastia sin balón. Estos stents están hechos de materiales con propiedades que les permiten expandirse de manera automática al ser liberados dentro de la arteria. Uno de los materiales más utilizados en su fabricación es el Nitinol, una aleación con memoria de forma que permite que el stent se expanda al alcanzar la temperatura corporal, ajustándose de manera natural al diámetro del vaso. Este mecanismo elimina la necesidad de un balón inflable, lo que facilita su colocación y reduce ciertos riesgos asociados a la técnica de angioplastia con balón.

Cabe destacar que los stents, según su recubrimiento o función, pueden clasificarse en expandibles o autoexpandibles, dependiendo de su mecanismo de expansión y las características de los materiales utilizados en su fabricación.

un alto riesgo de hemorragias.

A pesar de estos mejores resultados, la incidencia de reestenosis continuo siendo del 15-30 % a largo plazo.

**Stents farmacoactivos (SFA):** se añaden polímeros para la liberación controlada de fármacos antiproliferativos para prevenir reestenosis en el stent (RES).

- **Primera generación de SFA:** hechos de acero inoxidable que mostraron una disminución de la RES y la revascularización en comparación con los stents metálicos.

Sim embargo en 2006, el metanálisis de Camenzind [[Camenzind et al., 2007](#)] mostró un mayor riesgo de trombosis tardía a causa del retraso de la endotelización por el fármaco antiproliferativo y la reacción de hipersensibilidad por el recubrimiento de polímero.

- **Segunda generación de SFA:** se usan aleaciones metálicas de (cobalto-cromo o platino-cromo), además de la utilización de polímeros más biocompatibles que permitieron una liberación del fármaco más rápida.

Estos dispositivos se convirtieron en el tratamiento estándar para la enfermedad coronaria reemplazando a los anteriores. Sin embargo, el riesgo de trombosis tardía y el tratamiento con antiagregante durante al menos 1 año, continuo siendo un problema.

- **Stents de polímero bodegradable:** se comporta como un SFA en la fase inicial liberando el fármaco, posteriormente el polímero se degrada y el stent actúa como un stent metálico.

Estos dispositivos mostraron mejores resultados ante una trombosis tardía.

## 3.2. Biosensores

Un biosensor es un dispositivo que permite la medición de las reacciones biológicas del interior del cuerpo humano, mediante la generación de señales proporcionales a la concentración del analito de la reacción. Su uso principal es el monitoreo de las enfermedades [Bhalla et al., 2016].

En el caso de un stent inteligente, los biosensores pueden integrarse para medir variables clave y optimizar su funcionamiento, mejorando la seguridad y eficacia del tratamiento.

### Tipos del biosensores útiles para un stent inteligente

Existen 4 clases de sensores electroquímicos: [(UV), ]

- **Conductimétricos:** detectan cambios en la conductividad eléctrica. Por ejemplo este cambio puede estar causado por la alteración en la concentración de los iones.
- **Amperométricos:** miden cambios de corriente.
- **Potenciométricos:** miden la diferencia de potencial a causa de una reacción electroquímica.
- **Impedométricos:** miden el cambio de impedancia eléctrica que puede estar causada por variaciones en las propiedades resistivas y capacitativas en la superficie del sensor.

### 3.3. Materiales inteligentes

Los materiales inteligentes son materiales que pueden responder de forma dinámica modificando sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, adaptándose a los estímulos externos. [Europea, 2024]

Algunos de los materiales inteligentes que pueden ser útiles para la creación de un prototipo son:

- **Aleaciones con memoria de forma:** son materiales que tienen la capacidad de volver a una forma predeterminada en el momento en el que se les aplica calor. Un ejemplo sería el Nitinol.
- **Polímeros Electroactivos:** materiales que modifican su forma o tamaño cuando son sometidos a un campo eléctrico.
- **Geles inteligentes:** son polímeros capaces de cambiar de forma o volumen de manera reversible y controlada debido a estímulos, como el pH.

### 3.4. Sistemas de alimentación

Para el correcto funcionamiento del stent inteligente, es necesario implementar un sistema de recolección de energía que permita la alimentación continua de los biosensores y otros componentes electrónicos sin necesidad de baterías externas.

Existen varias estrategias para extraer energía del propio cuerpo humano, aprovechando sus fuentes naturales como la glucosa, el calor, el movimiento o la presión arterial. [Dagdeviren et al., 2017]

#### 3.4.1. Pilas de Biocombustible (BFC)

Las pilas de biocombustible generan electricidad a partir de procesos bioquímicos, utilizando la glucosa presente en la sangre o el lactato del sudor como fuentes de energía.

- En la sangre, la reacción de oxidación de la glucosa en el ánodo y la reducción del oxígeno en el cátodo permiten generar energía eléctrica.
- La enzima utilizada para catalizar la reacción de ánodo es la **glucosa oxidasa (GOx)**, mientras que la lacasa se usa para la reducción de oxígeno.

- El problema es la generación de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), que puede afectar generación de energía y comprometer su seguridad a largo plazo.

### 3.4.2. Generadores Termoeléctricos (TEG)

Los generadores termoeléctricos usan el calor corporal, generando un voltaje a partir del gradiente de temperatura entre el cuerpo humano y el ambiente.

- Un TEG consta de materiales termoeléctricos dispuestos en pares, donde la diferencia de temperatura entre la piel y el ambiente genera electricidad.
- Los materiales comúnmente usados son aleaciones como el **telururo de bismuto** ( $Bi_2Te_3$ ), **seleniuro de bismuto** ( $Bi_2Se_3$ ) y **seleniuro de estaño** ( $SnSe$ ).

### 3.4.3. Generadores Triboeléctricos (TENG)

Los generadores triboeléctricos transforman la energía mecánica del movimiento corporal en electricidad.

- Se basa en la transferencia de carga entre materiales con diferente polaridad cuando entran en contacto.
- Los TENG pueden integrarse en dispositivos implantables o vestibles para aprovechar movimientos naturales como la expansión y contracción de los vasos sanguíneos.

### 3.4.4. Generadores Piezoeléctricos

Los generadores piezoeléctricos convierten la energía mecánica en electricidad mediante materiales que producen carga eléctrica cuando son sometidos a presión.

- Los materiales piezoeléctricos inorgánicos como el **titanato de circonato de plomo (PZT)** y el **óxido de zinc (ZnO)** son óptimos pero presentan rigidez estructural.

- Por otro lado, los materiales orgánicos como el **poli(vinilideno fluoro)** (**PVDF**) son más flexibles y pueden adaptarse a superficies curvadas, como la pared arterial.
- Estos sistemas pueden integrarse en un *stent* inteligente para generar energía a partir del pulso sanguíneo.

En esta sección y el resto de secciones de la memoria puede ser necesario incluir listas de items.

- Pedro: [1, 2025]
- item2
- item3
- item4

Listas enumeradas.

1. item1
2. item2
3. item3

Figuras, como la figura 3.3 que aparece en la página 12.

Puedes aprender más de las figuras en la dirección [https://es.overleaf.com/learn/latex/Inserting\\_Images](https://es.overleaf.com/learn/latex/Inserting_Images)



Figura 3.3: Pie de la figura de la figura bla bla bla



a	b	c
1	2	3
4	5	6

Tabla 3.1:

También se pueden insertar tablas como 3.1, que ha sido generada con <https://www.tablesgenerator.com/>.

Es necesario que todas las figuras y tablas aparezca referenciadas en el texto, como estos ejemplos.

Todos los conceptos teóricos deben de estar correctamente referenciados en la bibliografía. Por ejemplo, aquí estoy citando la página de L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X de Wikipedia [?].

También puede ser necesario utilizar notas al pie <sup>4</sup>, para aclarar algunos conceptos.

### 3.5. Estado del arte y trabajos relacionados.

Revisión bibliografica de que se está haciendo en la industria o la academia relativo al problema que se está tratando.

Enumeración y resumen de todos los trabajos relacionados de interés.

---

<sup>4</sup>como por ejemplo esta



---

## Metodología

---

### 4.1. Revisión bibliográfica

### 4.2. Descripción de los datos.

Breve descripción de los datos. En caso de tratarse de un trabajo donde los datos son muy importantes, puede haber explicaciones extra en el anexo correspondiente.

### 4.3. Técnicas y herramientas.

Esta parte de la memoria tiene como objetivo presentar las técnicas metodológicas y las herramientas de desarrollo que se han utilizado para llevar a cabo el proyecto. Si se han estudiado diferentes alternativas de metodologías, herramientas, bibliotecas se puede hacer un resumen de los aspectos más destacados de cada alternativa, incluyendo comparativas entre las distintas opciones y una justificación de las elecciones realizadas. No se pretende que este apartado se convierta en un capítulo de un libro dedicado a cada una de las alternativas, sino comentar los aspectos más destacados de cada opción, con un repaso somero a los fundamentos esenciales y referencias bibliográficas para que el lector pueda ampliar su conocimiento sobre el tema.

Tipo de Dispositivo	Ventajas	Desventajas
<p><b>Stents metálicos convencionales (BMS)</b>  Sencillez en la fabricación.  Menor costo comparado con DES o BRS.  Resultados predecibles en términos de rendimiento mecánico.  Requiere tratamiento con fármacos antiplaquetarios a largo plazo (riesgo de sangrado).  Mayor riesgo de trombosis aguda y crónica debido a la no liberación de fármacos.  No permite la regeneración del tejido endotelial adecuadamente.</p>	<p>Alta resistencia mecánica.</p> <p>Alta tasa de reestenosis (ISR) debido a la falta de liberación de fármacos.</p> <p>Mejor biocompatibilidad y biodegradabilidad.</p>	
<p><b>Stents recubiertos de polímeros biodegradables (DES)</b>  Liberación controlada de fármacos.  Menor riesgo de trombosis e hiperplasia neointimal comparado con stents metálicos convencionales.  Posibilidad de carga de múltiples fármacos.  Desgaste mecánico durante la expansión (daños en el polímero).  Incompleta degradación en algunos casos.  Aún problemas de estabilidad mecánica en los stents completamente poliméricos.</p>	<p>Riesgo de reacciones de hipersensibilidad al polímero.</p> <p>Proporciona soporte temporal a la arteria, permitiendo su regeneración.</p>	
<p><b>Andamios biodegradables (BRS)</b>  Totalmente degradable, no deja material permanente en el cuerpo.  Mejora la función endotelial y la vasomoción.  Facilita futuras intervenciones o tratamientos en el sitio afectado.</p>	<p>Posibles problemas de bioresorción y bioabsorción.</p>	

---

# Resultados

---

## 5.1. Resumen de resultados.

Breve resumen de los resultados. En caso de ser un trabajo muy experimental, los resultados completos pueden aparecer en su anexo correspondiente.

Debería haber una correspondencia entre los objetivos y los resultados explicados en esta sección

## 5.2. Discusión.

Discusión y análisis de los resultados obtenidos.



---

# Conclusiones

---

Todo proyecto debe incluir las conclusiones que se derivan de su desarrollo. Éstas pueden ser de diferente índole, dependiendo de la tipología del proyecto, pero normalmente van a estar presentes un conjunto de conclusiones relacionadas con los resultados del proyecto y un conjunto de conclusiones técnicas.

## 6.1. Aspectos relevantes.

Este apartado pretende recoger los aspectos más interesantes del **desarrollo del proyecto**, comentados por los autores del mismo.

Debe incluir los detalles más relevantes en cada fase del desarrollo, justificando los caminos tomados, especialmente aquellos que no sean triviales.

Puede ser el lugar más adecuado para documentar los aspectos más interesantes del proyecto y también los resultados negativos obtenidos por soluciones previas a la solución entregada.

Este apartado, debe convertirse en el resumen de la experiencia práctica del proyecto, y por sí mismo justifica que la memoria se convierta en un documento útil, fuente de referencia para los autores, los tutores y futuros alumnos.





---

## Lineas de trabajo futuras

---

Este capítulo debería ser informe crítico indicando cómo se puede mejorar el proyecto, o cómo se puede continuar trabajando en la línea del proyecto realizado.



---

## Bibliografía

---

- [1, 2025] (2025). ¿qué es un stent? diccionario médico - clínica universidad de navarra. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/stent>. Consultado el 13 de febrero de 2025.
- [Alianza, ] Alianza, C. El 27 [Accessed 13-02-2025].
- [Bhalla et al., 2016] Bhalla, N., Jolly, P., Formisano, N., and Estrela, P. (2016). Introduction to biosensors. *Essays Biochem.*, 60(1):1–8.
- [Borhani et al., 2018] Borhani, S., Hassanajili, S., Ahmadi Tafti, S. H., and Rabbani, S. (2018). Cardiovascular stents: overview, evolution, and next generation. *Progress in Biomaterials*, 7(3):175–205.
- [Camenzind et al., 2007] Camenzind, E., Steg, P. G., and Wijns, W. (2007). A cause for concern. *Circulation*, 115(11):1440–1455.
- [Centro Médico ABC, 2025] Centro Médico ABC (2025). Stent coronario, ¿cómo funciona? Consultado el 7 de abril de 2025.
- [Dagdeviren et al., 2017] Dagdeviren, C., Li, Z., and Wang, Z. L. (2017). Energy harvesting from the animal/human body for self-powered electronics. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 19(Volume 19, 2017):85–108.
- [Europea, 2024] Europea, U. (2024). Materiales inteligentes: qué son y cuáles son sus aplicaciones | Blog UE — universidadeuropea.com. <https://universidadeuropea.com/blog/materiales-inteligentes/>. [Accessed 16-02-2025].

- [Instituto Nacional del Corazón, 2024] Instituto Nacional del Corazón, I. P. y I. S. N. (2024). Endoprótesis (stents). Última actualización: 30 de octubre de 2024.
- [Ostos, ] Ostos, R. ¿Cómo funciona un stent coronario? | Centro Médico ABC — centromedicoabc.com. <https://centromedicoabc.com/revista-digital/como-funciona-un-stent-coronario/>. [Accessed 14-02-2025].
- [Salmerón Febres et al., 2011] Salmerón Febres, L. M., Al-Raies Bolaños, B., Blanes Mompó, J. I., Collado Bueno, G., Cuenca Manteca, J., Fernández González, S., Linares Palomino, J. P., López Espada, C., Martínez Gámez, J., and Serrano Hernando, J. (2011). Guía de actuación en técnicas y procedimientos endovasculares del sector infrainguinal. *Angiología*, 63(3):119–142.
- [(UV), ] (UV), M. R. uv.es. <https://www.uv.es/materomo/resources/g6.pdf>. [Accessed 15-02-2025].