

# Diseño y desarrollo de un vaso linfático artificial para pacientes con linfedema secundario por cáncer de mama

Gabriela Durán-Aguilar<sup>(\*)</sup>, Alberto Rossa-Sierra<sup>(\*\*)</sup> y Rita Fuentes-Aguilar<sup>(\*\*\*)</sup>

---

**Resumen:** El cáncer de mama es el tumor maligno más común que afecta a mujeres en los Estados Unidos, Europa y México. Como efecto adverso de los tratamientos para esta condición, en algunos casos se presenta linfedema secundaria asociado al cáncer de mama. Esta complicación ocurre debido a la interrupción del flujo linfático en las extremidades superiores junto con otros factores como la radiación, el estilo de vida sedentario, la extirpación de ganglios linfáticos, el daño a los vasos linfáticos, entre otros. En aproximadamente un tercio de los casos, se convierte en una enfermedad crónica. Por ello, la fisioterapia es esencial para una mejor calidad de vida en pacientes que sobreviven a esta enfermedad. Las cirugías y los tratamientos manuales y farmacológicos son los procedimientos actuales que se realizan para reducir las alteraciones que sufren los pacientes con linfedema; sin embargo, el éxito de los tratamientos depende de las características de cada paciente. Para hacer frente a este problema, se ha propuesto el diseño de un vaso linfático para asistir la falla mecánica del sistema linfático dañado. En este trabajo se presenta la metodología de diseño utilizada para la creación del vaso linfático, así como el análisis computacional de simulación de fluidos y la selección del material propuesto, lo que resultó en un diseño nanométrico. En el futuro, se espera que un cirujano pueda implantar el diseño del vaso para restaurar el flujo linfático a través del sistema linfático, ayudando así a combatir el linfedema.

**Palabras clave:** Innovación - linfedema - dispositivo médico - diseño para la salud - Health design.

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 141]

---

<sup>(\*)</sup> Universidad Panamericana. Facultad de Ingeniería. Jose María Escrivá de Balaguer 101, Villas Bonaterra, Aguascalientes, 20296, gaduran@up.edu.mx (México)

<sup>(\*\*)</sup> Universidad Panamericana. Facultad de Ingeniería. Álvaro del Portillo 49, Zapopan, Jalisco, 45010, lurosa@up.edu.mx (México)

<sup>(\*\*\*)</sup> Tecnológico de Monterrey. Escuela de Ingeniería y Ciencias. Zapopan, 45201, rita.fuentes@tec.mx (México)

## Introducción

En 2020, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024), la incidencia de tumores malignos de mama en la población mayor de 20 años fue de 14 nuevos casos por cada 100,000 habitantes. En las mujeres, alcanza su máximo en el grupo de edad de 60 a 64 años (69 casos por cada 100,000 mujeres).

Como resultado de este análisis y el contacto continuo con personas que padecen esta condición, se observaron varios aspectos del cáncer de mama, tanto psicológicos como físicos. Dependiendo del tipo de cáncer detectado, el tratamiento que los médicos prescriben es diferente; sin embargo, cuando hay cirugía o radioterapia en el procedimiento, los ganglios linfáticos y los vasos linfáticos son extirpados o dañados, lo que en la mayoría de los casos provoca la enfermedad crónica conocida como linfedema (Pereira & Koshima, 2018). Según la Organización Mundial de la Salud, el cáncer de mama es el cáncer más común en las mujeres y está aumentando tanto en países desarrollados como en países en desarrollo. Solo en 2020, 2.3 millones de mujeres fueron diagnosticadas con cáncer de mama y se calcula que 685,000 murieron por la enfermedad (Organización Mundial de la Salud, 2024). Un gran número de pacientes con cáncer en todo el mundo no tiene acceso a un diagnóstico y tratamiento de calidad (Reyna et al., 2018). Con la cirugía y los tratamientos del cáncer de mama, los pacientes presentan síntomas físicos, linfedema, afectaciones psicológicas, cambios en el rol familiar y profesional, entre otros, alterando así su calidad de vida. Múltiples estudios (Sat-Muñoz et al., 2011; Salvato & Robles-Vidal, 2008; Cruz-Ramos et al., 2018; Domínguez et al., 2009) indican que, una vez que la fase más crítica del tratamiento del cáncer de mama ha pasado (Cirugías, quimioterapias, radioterapias), los pacientes se ven obligados a encontrar una forma de adaptarse a las diferentes situaciones que su nueva realidad les presenta.

Estudios de la Sociedad Americana del Cáncer (American Cancer Society, 2019), observaron que la linfedema puede ocurrir, entre otras razones, durante algunos de los procedimientos quirúrgicos para remover el cáncer. El cirujano puede extirpar los ganglios linfáticos cercanos al tumor para ver si el cáncer se ha diseminado; cuando esto ocurre, los vasos linfáticos que transportan líquido desde esa área al resto del cuerpo también se extraen. La extracción de ganglios linfáticos y vasos dificulta que el líquido linfático fluya desde los brazos, las piernas y otras partes del cuerpo hacia el pecho, donde se libera de nuevo en el torrente sanguíneo (Guillén-Paredes et al., 2014). Si los vasos linfáticos restantes no pueden absorber suficiente líquido de la zona, este se acumula, causando una severa hinchazón en la parte afectada.

No hay una manera infalible de prevenir todos los casos de linfedema. Sin embargo, hay formas de reducir el riesgo de desarrollar la condición. Por ejemplo, la modificación de factores de riesgo, la inclusión de ejercicio terapéutico, la terapia de compresión, el cuidado de la piel, el control de peso y las comorbilidades. Como elementos preventivos de riesgo relevantes (Ocampo Díaz, 2019), cuando es necesario extirpar ganglios linfáticos, algunas técnicas quirúrgicas modernas pueden ser útiles debido al procedimiento realizado por el médico al seleccionar solo los ganglios infectados; con este tipo de método, la extracción es más segura y menos agresiva para el paciente (Johansson & Hayes, 2020).

Cuando se presenta la linfedema, el volumen estándar de linfa producido diariamente por el cuerpo es mayor que la capacidad del sistema linfático del paciente; por lo tanto, el cuerpo no puede prevenir la acumulación de líquido, lo que resulta en un edema. Existen diferentes tratamientos para el manejo o reducción de la linfedema, que incluyen: tratamientos mecánicos, drenaje linfático manual, vendajes, fisioterapia, entre otros (McLaughlin et al., 2020; Ochalek et al., 2019).

## Planteamiento del problema

La linfedema puede volverse evidente a más de 20 años después de haberse iniciado; es una enfermedad crónica que, una vez diagnosticada, puede tratarse, pero no curarse, por lo que se convierte en una condición de por vida para los pacientes (Gómez Guarín, 2019). No todos los pacientes son candidatos para el tratamiento quirúrgico; algunos con linfedema avanzado pueden tener los vasos linfáticos gravemente dañados; en estos casos, la cirugía de reducción mediante liposucción se convierte en el tratamiento efectivo y paliativo (Manso et al., 2019).

Siempre que el paciente reciba un diagnóstico oportuno, los tratamientos manuales son la solución; sin embargo, si incluso con estos tratamientos el linfedema no disminuye, el paciente será apto para cirugía. Una vez realizada la cirugía, se logra un resultado exitoso en la reducción de la linfedema; sin embargo, en todos los casos, el uso de prendas de compresión será inminente y nuevamente paliativo (Jiménez-Pérez et al., 2011; Pérez et al., 2001; Pereira et al., 2019; Obregón-Palaín et al., 2016).

## Metodología

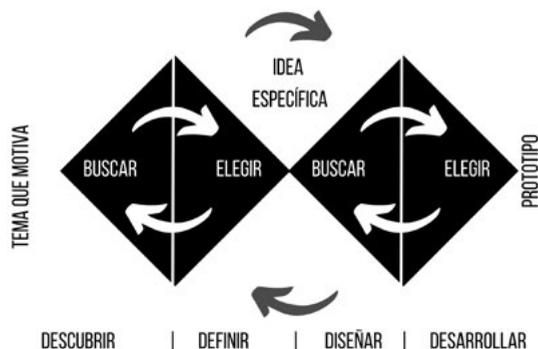


Figura 1. Método del Doble Diamante (Bukhman, 2021).

La metodología empleada para este proyecto consistió en la conocida como “Doble Diamante”, desarrollada por el Design Council de Gran Bretaña. Este proceso metodológico cuenta con cuatro etapas divididos en dos diamantes: Descubrir, definir, desarrollar y entregar; en el primer diamante se localizan las etapas de desarrollo e ideación, a las cuales se les considera divergentes, en el segundo diamante la etapa de construcción y una solución validada se considera convergente. (Figura 1).

## Resultados

Al inicio de la fase de implementación, trazada por la metodología seleccionada, se inició por estudiar el funcionamiento del ganglio linfático y sus características, así como posibles tipos alternativos de circulación de objetos, relacionados con el transporte de líquidos de forma unidireccional.

En esta primera fase de trabajo se realizaron bocetos libres desarrollando el concepto de “válvula de paso”, sin embargo, por las dimensiones internas de los vasos linfáticos (menos de 1 mm de diámetro) estas propuestas no serían viables para producción. Llegado este punto en que la tecnología de fabricación nos estaba limitando el diseño del dispositivo, recurrimos a una técnica que nos ayudó a resolver el problema que se nos estaba presentando (Camacho-Navares et al., 2021).

## Utilización de la Ingeniería de valor aplicada

Hasta aquí se había llegado a un diseño conceptual de un posible ganglio linfático, pero aún con dicha solución, se tendría que resolver todas y cada una de las funciones de un ganglio linfático sin tener certeza de que eso pudiera permitir la reactivación de la circulación de la linfa, por lo que se propuso el uso de la Ingeniería de valor o *Value Engineering*. La Ingeniería de valor es un sistema enfocado al entendimiento funcional de los productos, servicios y procesos. El uso de funciones es un apoyo esencial al pensamiento analítico, ya que ayudan a comprender qué hace cada una de las partes que conforman al objeto de estudio, facilitando así la transición al pensamiento creativo para la propuesta de soluciones.

El estudio de análisis de funciones se realizó en dos ocasiones: el primer estudio fue aplicado al ganglio linfático con el objetivo de identificar las funciones que éste desempeña dentro del organismo, pues consecuente a la disección axilar, el cumplimiento de estas funciones se verá afectado de manera total en el área de extracción y de manera parcial en el sistema circulatorio de la linfa. Del segundo estudio se extrajeron funciones a partir de los requisitos y especificaciones planteadas para el producto. (Figura 2) Ambos estudios ayudaron a determinar las funciones necesarias para el producto.

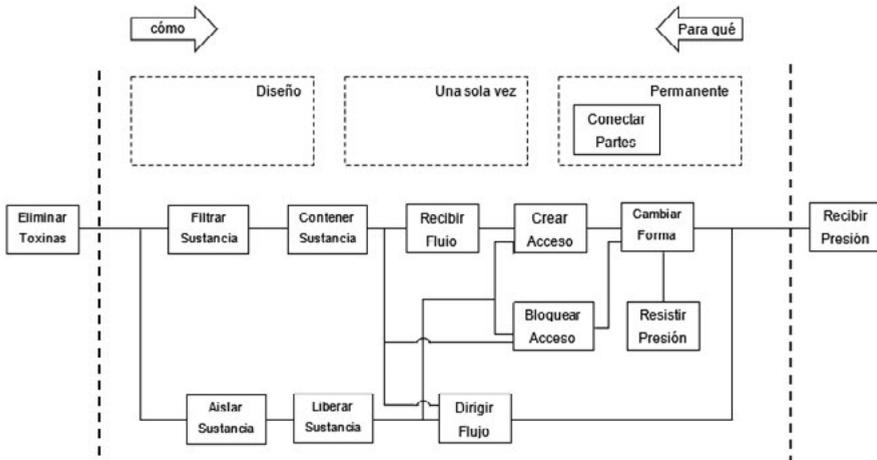


Figura 2. Diagrama FAST del ganglio linfático (Camacho-Navares & Durán-Aguilar, 2021).

A partir de este estudio se obtuvieron las siguientes observaciones: Se encontró una función permanente: conectar partes. Al extraer el ganglio y por la cauterización, se rompe la unión entre los vasos linfáticos, esto impide la circulación de la linfa, lo que a su vez ocasiona su acumulación. Será por tanto necesario que el dispositivo médico cumpla con esta función. Las funciones básicas (propósito específico por el que un producto, proceso o servicio existe) del vaso son dos: filtrar sustancia y aislar sustancia. Los ganglios linfáticos no extraídos aún cumplen con la función de filtrar sustancia, por lo que se cree que, de lograr la reconexión del sistema circulatorio linfático, esta función la podrán cubrir los ganglios linfáticos presentes en el organismo. Si no es parte del alcance del proyecto filtrar la sustancia, ya no se requerirá aislarla. Sin embargo, la válvula que es la parte a la que corresponde dicha función también dosifica la sustancia, esta función permanece.

### Propuesta de diseño del dispositivo

Como resultado de la aplicación de la técnica de Ingeniería de Valor en el proceso de diseño, se llegó a la conclusión de que las funciones necesarias que se requerían ante la problemática presentada son las siguientes:

Los estadios de la linfedema elegidos son los más severos, al encontrar los vasos linfáticos totalmente dañados sin posible reconstrucción.

Se analizaron los tratamientos existentes como la anastomosis (conexión quirúrgica entre dos estructuras tubulares), la cual sugieren conexión a una vena de mayor grosor, la cual cuenta con una presión diferente (32 mm/Hg) a la de un vaso linfático (-6 a 0 mm Hg), por lo que con el paso del tiempo se genera una fibrosis (exceso de tejido) impidiendo de nuevo la circulación de la linfa.

En el caso de la cirugía de transposición de ganglios linfáticos, se requiere de dos etapas o fases quirúrgicas: una para la extirpación de vasos linfáticos en la extremidad no afectada y otra para la conexión de esos mismos vasos linfáticos a la extremidad afectada, generando un posible problema en la circulación de la linfa.

Obtener la circulación de la linfa, conectando los vasos linfáticos, a través de uno o varios dispositivos artificiales que permitieran la misma presión que la original.

El material requerido para el dispositivo deberá de cumplir las especificaciones de biocompatibilidad y no ser alérgico al cuerpo del ser humano.

Las medidas previstas para este modelo fueron de, válvula entrante >50-75 micras, válvula saliente <100 micras, con una presión 25 y 32 mm de Hg, con una circulación unidireccional, vaso linfático 2000 micras de longitud con un diámetro de 20 micras.

Se analizó la problemática de la conexión y se investigó la técnica básica en cirugía vascular, la cuál es utilizada para la reconexión de venas, y la más utilizada en el campo de la cirugía. La propuesta de diseño del vaso final se muestra en la Figura 3.

Para la realización de esta propuesta de vaso, recurrimos al empleo de la nanoimpresión por deposición (Desponds et al., 2020), tecnología que permite imprimir a escala nanométrica, que es la que se requiere para las dimensiones interiores del vaso, así como de fabricación de la válvula necesaria para evitar el retorno de la linfa. Se procedió a la nanoimpresión en un laboratorio externo, utilizando un polímero bio-compatibile (Termopoliuretano) con una dureza Shore A0, lo cual lo hace sumamente flexible para permitir que los movimientos naturales del cuerpo hagan circular la linfa de manera natural. (Figuras 4 y Figura 5)

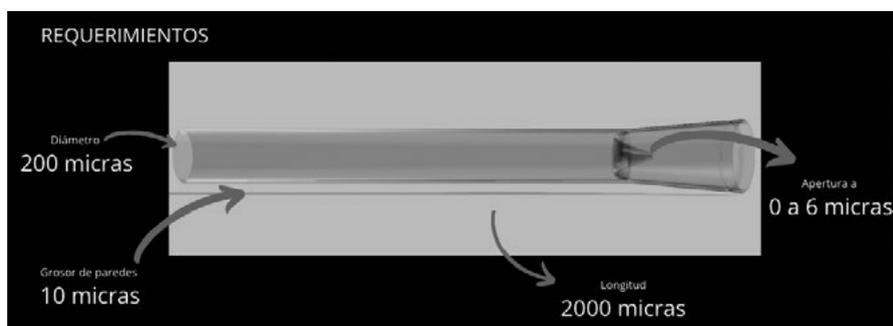
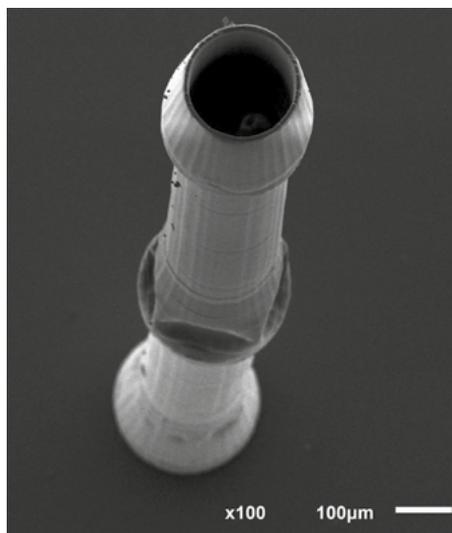
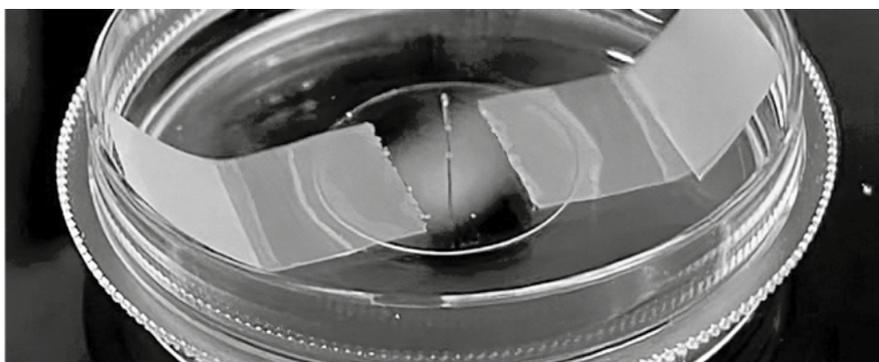


Figura 3. Representación de los requerimientos para el vaso linfático.



**Figura 4.** Microfotografía de dos vasos linfáticos conectados, nanoimpresos en polímero biocompatible de extrema flexibilidad, fabricados a escala 1:1.



**Figura 5.** Microfotografía de dos vasos linfáticos conectados, nanoimpresos en polímero biocompatible de extrema flexibilidad, fabricados a escala 1:1.

## Conclusiones

Las propiedades físicas y mecánicas requeridas para el material del filamento para la impresión 3D deben ser un 95% similares a las de una vena. La resistencia del vaso linfático artificial en el cuerpo dependerá de esto y de su aceptación. El diseño final del vaso linfático artificial se obtuvo a partir de la información recopilada mediante el diagrama FAST de ingeniería de valor. Se estableció la necesidad de una conexión entre los vasos linfáticos dañados para reactivar el flujo linfático. Para la prueba del diseño, se analizaron la presión y la velocidad de la linfa en un vaso linfático biológico, evaluando la viabilidad de conectar un vaso al ganglio linfático más cercano para su filtrado y limpieza. Además de la conexión entre vasos linfáticos y ganglios, otra función requerida es evitar el retroceso de la linfa en su flujo unidireccional. Para lograr esto, se colocaron válvulas internas en el diseño del vaso linfático. Los elementos del análisis fueron el comportamiento, la elasticidad, la presión y las medidas de las válvulas en el vaso linfático artificial. Se analizaron tres tipos de materiales, lo que resultó en la viabilidad del desarrollo de un polímero que pudiera transformarse en un filamento para una nanoimpresión 3D, así como la resistencia y efectividad de su implantación en el cuerpo. Aunque esto representa un trabajo adicional al presentado, se menciona porque será uno de los posibles alcances a continuar en las siguientes etapas del proyecto. Se logró diseñar un vaso linfático biológico, considerando la limitación de los métodos de fabricación actuales, y finalmente se consiguió una técnica para su nanoimpresión. La simulación de fluidos por computadora realizada al modelo permite un análisis exitoso del desempeño del diseño propuesto del vaso linfático artificial; basado en los movimientos externos requeridos, la linfa tiene un flujo, presión y velocidad correctos, y el vaso funciona adecuadamente. Finalmente, queremos resaltar que, el equipo de diseño contó con la valiosa asesoría de biotecnólogos, recalando que, el diseño de dispositivos médicos es una nueva frontera para el diseño de producto. La frescura de nuestros métodos de diseño, así como las técnicas de creatividad que el diseñador aporta, permite la realización de proyectos como el presente, el cual, en nuestro caso ha sido la punta de lanza para más proyectos que actualmente estamos desarrollando del área de la salud.

## Agradecimientos

Los autores están extremadamente agradecidos con las personas involucradas en esta investigación: E.S.G., L.L.M., P.E.C.S., S.C.N., D.V.Z., J.F.B., H.A., J.O., así como con los doctores y fisioterapeutas que trabajan cada día para mejorar la calidad de vida de los pacientes que padecen linfedema. Agradecemos el apoyo de la Universidad Panamericana (México).

## Referencias

- American Cancer Society. Linfedema. 25/05/21, de *American Cancer Society Sitio Web*. (2019). Available online: <https://www.cancer.org/es/cancer/como-sobrellevar-el-cancer/efectos-secundarios/hinchazon/linfedema/que-es-linfedema.html> (accessed on 25/OCT/2024).
- Bukhman, I. (2021). *Technology for Innovation: How to Create New Systems, Develop Existing Systems and Solve Related Problems*. Springer Nature.
- Camacho-Navares, S., & Durán-Aguilar, G. (2021). *Value engineering: Definition of functions through requirements and specifications on product design*. REPOSITORIO SCRIPTA; REPOSITORIO NACIONAL CONACYT; OPENAIRE.
- Cruz-Ramos, J. A., Cedeño-Meza, A., Bernal-Gallardo, J. A., De La Mora-Jiménez, E., Cervantes-Cardona, G. A., & Rivas-Rivera, F. (2018). *Efecto de terapia descongestiva compleja en linfedema secundario al tratamiento quirúrgico y calidad de vida en mujeres con cáncer de mama*. *Salud & Sociedad*, 9(1), 088-096.
- Desponds, A., Banyasz, A., Montagnac, G., Andraud, C., Baldeck, P., & Parola, S. (2020). *Microfabrication by two-photon lithography, and characterization, of SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> based hybrid and ceramic microstructures*. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 95, 733-745.
- Domínguez Gil, M. R., Acosta Mosquera, M. E., Méndez Martín, I., Maestre Ramos, I., Pedrote Ramírez, C., & Frutos Cantó, M. (2009). *Evaluación de la Calidad de Vida tras el tratamiento primario del cáncer de mama*. *Index de Enfermería*, 18(4), 246-248.
- Enríquez Reyna, M. C., & Vargas Flores, M. D. L. A. (2018). *Factores personales que afectan la calidad de vida de mujeres con cáncer de mama del noreste de México: Personal factors that affect quality of life of women with breast cancer from the northeast of Mexico*. *Hispanic health care international*, 16(2), 70-75.
- Gómez Guarín, J. C. (2019). *Sondas gamma para la detección del ganglio centinela: una comparativa de los impactos ambientales del ciclo de vida*.
- Guillén-Paredes, M. P., Carrasco-González, L., Aguayo-Albasini, J. L., & Carrillo-Alcaraz, A. (2014). *Variables relacionadas con la diseminación metastásica axilar en el cáncer de mama con ganglio centinela positivo*. *Evaluación de modelos predictivos*. *Revista de Senología y Patología Mamaria*, 27(3), 105-113.
- INEGI. *Estadísticas A Propósito Del Día Mundial De La Lucha Contra El Cáncer De Mama*. 15/Oct/20, de INEGI Sitio Web. (2024). Available online: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2020/Cancermama20.pdf> (accessed on 25 October 2024).
- Jiménez-Pérez, L. M., Zepeda-Ornelas, E. A., Laguna-Macías, P. K., Frías-Terrones, M. G., & Meza-León, B. (2011). *Linfedema secundario a cáncer de mama: ¿Una posible secuela a considerar?*. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 12(1).
- Johansson, K., & Hayes, S. (2020). *A historical account of the role of exercise in the prevention and treatment of cancer-related lymphedema*. *Lymphology*, 53(2), 55-62.
- Manso, M. R., Hermida, E. C., Mourelle, R. M., Villaverde, S. O., Boga, R. M., & Barreiro, V. B. (2019). *Terapia descongestiva compleja en grados iniciales de linfedema secundario a cáncer de mama*. *Fisioterapia*, 41(1), 21-27.

- McLaughlin, S. A., Brunelle, C. L., & Taghian, A. (2020). *Breast cancer–related lymphedema: risk factors, screening, management, and the impact of locoregional treatment*. *Journal of Clinical Oncology*, 38(20), 2341.
- Ocampo Díaz, E. J. (2019). *Radioterapia axilar y recurrencia locoregional en pacientes con cáncer de mama sometidos a cirugía de conservación, mastectomía y disección nodal T1-T2 con 1 A 3 ganglios positivos en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas del 2000 al 2005*.
- Ochalek, K., Partsch, H., Gradalski, T., & Szygula, Z. (2019). *Do compression sleeves reduce the incidence of arm lymphedema and improve quality of life? Two-year results from a prospective randomized trial in breast cancer survivors*. *Lymphatic research and biology*, 17(1), 70-77.
- Obregón-Palaín, L., Ruiz-Castilla, M., Pérez-Sempere, M., & Serracanta-Domènech, J. (2016). *Técnica de Charles en elefantiasis de extremidad inferior: Caso clínico*. *Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana*, 42(4), 379-384.
- Organización Mundial de la Salud. *Cáncer de Mama. Datos y Cifras*. 13/04/24, de OMS Sitio Web. (2024). Available online: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer> (accessed on 25 Oct 2024).
- Pereira, N., & Koshima, I. (2018). *Linfedema: actualización en el diagnóstico y tratamiento quirúrgico*. *Revista Chilena de Cirugía*, 70(6), 589-597.
- Pereira, N., Pons, G., & Masià, J. (2019). *Linfedema asociado al cáncer de mama: factores de riesgo, diagnóstico y tratamiento quirúrgico*. *Revista de cirugía*, 71(1), 79-87.
- Pérez, J. A., Salem, C., Henning, E., Uherek, F., & Schultz, C. (2001). *Linfedema de miembro superior secundario al tratamiento de cáncer de mama*. *Cuadernos de Cirugía*, 15(1), 107-115.
- Salvato, I. A. T., & Robles-Vidal, C. (2008). *Lymphedema. Complications post-mastectomy*. *Revista Mexicana de Mastología*, 3(2), 40-43.
- Sat-Muñoz, D., Contreras-Hernández, I., Hernández-Chávez, G. A., Solano-Murillo, P., Mariscal-Ramírez, I., Lomelí-García, M., ... & Morgan-Villela, G. (2011). *Calidad de vida en mujeres mexicanas con cáncer de mama en diferentes etapas clínicas y su asociación con características socio-demográficas, estados co-mórbidos y características del proceso de atención en el Instituto Mexicano del Seguro Social*. *Value in Health*, 14(5), S133-S136.

---

**Abstract:** Breast cancer is the most common malignant tumor affecting women in the United States, Europe, and Mexico. As an adverse effect of treatments for this condition, secondary lymphedema associated with breast cancer occurs in some cases. This complication occurs due to the interruption of lymphatic flow in the upper extremities along with other factors such as radiation, sedentary lifestyle, removal of lymph nodes, damage to lymphatic vessels, among others. In approximately one third of cases, it becomes a chronic disease. Therefore, physical therapy is essential for a better quality of life in patients who survive this disease. Surgeries and manual and pharmacological treatments are the current procedures performed to reduce the alterations suffered by patients with lymphedema; however, the success of the treatments depends on the characteristics of

each patient. To address this problem, the design of a lymphatic vessel has been proposed to assist the mechanical failure of the damaged lymphatic system. This paper presents the design methodology used to create the lymphatic vessel, as well as the computational fluid simulation analysis and selection of the proposed material, which resulted in a nanometric design. In the future, it is hoped that a surgeon will be able to implant the vessel design to restore lymphatic flow through the lymphatic system, thus helping to combat lymphedema.

**Keywords:** Innovation - lymphedema - medical device - design for health - Health design.

**Resumo:** O câncer de mama é o tumor maligno mais comum que afeta mulheres nos Estados Unidos, Europa e México. Como efeito adverso dos tratamentos para esta condição, em alguns casos ocorre linfedema secundário associado ao câncer de mama. Essa complicação ocorre devido à interrupção do fluxo linfático nas extremidades superiores, juntamente com outros fatores como radiação, sedentarismo, remoção de gânglios linfáticos, danos aos vasos linfáticos, entre outros. Em cerca de um terço dos casos, torna-se uma doença crônica. Portanto, a fisioterapia é essencial para uma melhor qualidade de vida nos pacientes que sobrevivem a esta doença. Cirurgias e tratamentos manuais e farmacológicos são os procedimentos atuais realizados para reduzir as alterações sofridas pelos pacientes com linfedema; Porém, o sucesso dos tratamentos depende das características de cada paciente. Para resolver este problema, foi proposto o desenho de um vaso linfático para auxiliar na falha mecânica do sistema linfático danificado. Este trabalho apresenta a metodologia de projeto utilizada para criação do vaso linfático, bem como a análise computacional da simulação de fluidos e a seleção do material proposto, que resultou em um projeto nanométrico. No futuro, espera-se que um cirurgião possa implantar o desenho do vaso para restaurar o fluxo linfático através do sistema linfático, ajudando assim a combater o linfedema.

**Palavras-chave:** Inovação - linfedema - dispositivo médico - design para saúde - Design em saúde.

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]

---