

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

[DOI 10.35381/noesisin.v7i14.430](https://doi.org/10.35381/noesisin.v7i14.430)

Plan de aprovisionamiento para la producción de prótesis híbridas para extremidades según demanda futura

Supply plan for the production of hybrid limb prostheses based on future demand

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero

marjorie.ramos@espoch.edu.ec

Red Académica Koinonía, Riobamba, Chimborazo

Ecuador

<https://orcid.org/0009-0004-7008-5721>

Stiven Alexander Realpe-Mera

stiven.realpe@espoch.edu.ec

Red Académica Koinonía, Riobamba, Chimborazo

Ecuador

<https://orcid.org/0009-0007-7791-9903>

Ángel Geovanny Guamán-Lozano

geovanny.guaman@espoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo

Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-5145-6994>

Jaime Iván Acosta-Velarde

ji_acosta@espoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo

Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-1034-7839>

Recibido: 15 de marzo 2025

Revisado: 15 de mayo 2025

Aprobado: 15 de junio 2025

Publicado: 01 de julio 2025

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

RESUMEN

Garantizar la eficiencia de actividades productivas precisa de datos para garantizar la toma de decisiones. La fabricación de prótesis híbridas requiere conocer la demanda futura para definir niveles de producción y estimar los recursos. La investigación desarrolló un procedimiento para establecer un plan de aprovisionamiento para prótesis híbridas para extremidades superiores e inferiores, basado en previsiones de demanda insatisfecha. En el trabajo se aplica una metodología cualitativa, de alcance descriptiva y documental, basada en análisis de datos sobre personas con amputaciones parciales o totales de sus extremidades superiores o inferiores. La propuesta se implementó en el proceso de fabricación prótesis transtibiales y transradiales, basado en la previsión de la demanda a través de un modelo de población futura. La aplicación del procedimiento demostró la viabilidad de proyectar la producción de prótesis híbridas y planificar el aprovisionamiento de sus insumos a partir de la previsión de la demanda futura.

Descriptores: Gestión de aprovisionamiento; previsión de demanda; proceso de producción; prótesis híbridas. (Tesauro UNESCO).

ABSTRACT

Ensuring the efficiency of productive activities requires data to ensure decision-making. The manufacture of hybrid prostheses requires knowing the future demand to define production levels and estimate resources. The research developed a procedure to establish a procurement plan for hybrid prostheses for upper and lower limbs, based on forecasts of unmet demand. The work applies a qualitative methodology, descriptive and documentary in scope, based on data analysis on people with partial or total amputations of their upper or lower limbs. The proposal was implemented in the transtibial and transradial prosthesis manufacturing process, based on the forecasting of demand through a future population model. The application of the procedure demonstrated the feasibility of planning the production of hybrid prostheses and planning the supply of their inputs based on the forecast of future demand.

Descriptors: Procurement management; demand forecasting; production process; hybrid prostheses. (UNESCO Thesaurus).

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

INTRODUCCIÓN

Toda organización hoy en día busca optimizar su gestión de aprovisionamiento dada la importancia de la misma para el adecuado funcionamiento empresarial, al garantizar la disponibilidad oportuna de los insumos, componentes y tecnología necesarios para el proceso productivo, en función de una demanda que puede ser variable y difícil de predecir (Anilkumar & Sridharan, 2019). El plan de aseguramiento, no solamente está encaminado a garantizar la adquisición de materiales, sino que define las directrices para la selección y gestión de proveedores, la gestión de inventarios y la evaluación y control basado en indicadores clave de desempeño, consolidándose como un activo estratégico para el plan operativo de la empresa. El carácter fundamental de esta planificación se acentúa en sectores manufactureros altamente especializados, donde la disponibilidad oportuna de insumos específicos impacta directamente en la capacidad productiva y, en casos como el de la salud, en la calidad de vida de las personas (Shi et al., 2022; Ambrogio et al., 2025; Balloni et al., 2025).

En este contexto, la industria de producción de prótesis híbridas (dispositivos que integran componentes mecánicos, electrónicos y materiales biocompatibles) ha experimentado una evolución sustancial, en gran medida como resultado de los avances tecnológicos acaecidos en la última década (Al-Masa'afah et al., 2024; Noodaeng et al., 2025; Peron et al., 2025; Menghwar & Ali, 2026). La incorporación de tecnologías vanguardistas como la impresión 3D y componentes electrónicos ha facilitado el desarrollo de prótesis híbridas para extremidades superiores e inferiores cada vez más funcionales y accesibles (Mamo et al. Kunwar, 2023; Akben & Akben, 2025; Olivarez-Areyan et al. 2025), solución que tributa a restaurar parcialmente las funciones perdidas, facilitando la reintegración del individuo a sus actividades cotidianas (Bessadet et al., 2025).

Considerable es la cantidad de personas que han sido sometidos a amputaciones de miembros (superiores e inferiores) debido a disímiles causas, para los cuales estos dispositivos constituyen una esperanza para mejorar su calidad de vida. Según la

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

Organización Mundial de la Salud (OMS), en el futuro el 0,5 % de la población mundial requerirá ayuda ortoprotésica (Marin et al., 2023), mientras que, en Ecuador, en el año 2023, según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (2023), existían alrededor de 215 156 personas con discapacidad física que necesitaban emplear prótesis. Esta situación constituye un nicho de mercado evidente para las empresas productoras de estos dispositivos.

En cambio, son disímiles los desafíos que desde el punto de vista de la Logística acompañan a esta oportunidad. Las empresas fabricantes de prótesis híbridas, muchas de las cuales han operado históricamente en entornos limitados de producción y prototipado, carecen frecuentemente de procedimientos estandarizados y de una cultura de planificación del suministro. Su modelo de aprovisionamiento suele ser reactivo, basado en necesidades emergentes por pedido, lo que conlleva a costos elevados, pérdida de tiempo en la adquisición de insumos básicos y una gestión improvisada de proveedores. Frecuentemente, estas empresas se someten a grandes riesgos cuando buscan incrementar sus niveles productivos para dar respuesta a demandas potenciales debido a que no disponen de un plan de aprovisionamiento bien fundamentado. Es común encontrar falta de estrategias de pronósticos de demanda eficaces, lo cual, unido a la falta de una estadística histórica sólida y a la variabilidad en las necesidades de los pacientes, puede traducirse en descontroladas variaciones de los inventarios en ambos sentidos: desabastecimientos (paradas de la producción e incremento de los tiempos de espera de los pacientes) o sobreabastecimiento (incremento de los costos de almacenamiento y el riesgo de obsolescencia).

Lo anterior constituye la situación problemática que da pie al planteamiento central de esta investigación. La manera actual en que se adquieren los insumos para la fabricación de prótesis transtibiales y transradiales no está sujeta a un procedimiento estandarizado, lo que compromete la sostenibilidad operativa y la capacidad de las empresas para cumplir con los requerimientos de calidad y oportunidad que exigen los usuarios. La reorganización productiva que están emprendiendo estos fabricantes para expandir su

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

producción hace imperante la necesidad de un enfoque planificado que garantice el flujo continuo de materiales especializados. Investigaciones previas, como la de Pham et al. (2023), respaldan que la falta de insumos en momentos críticos puede forzar decisiones que comprometen la calidad final del producto. En este sentido, el presente artículo tiene como objetivo general diseñar un procedimiento que permite establecer un plan de aprovisionamiento basado en la previsión de la demanda futura para el proceso productivo de prótesis híbridas para extremidades superiores e inferiores, que contribuya a optimizar los procesos logísticos y productivos.

MÉTODO

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, integrando la recopilación, análisis estadístico e interpretación de datos con la descripción de procesos organizativos. Este enfoque facilitó la comprensión integral del fenómeno de estudio, dado que permitió la combinación de previsiones de demanda y proyecciones de mercado con puntualizaciones sobre la gestión interna de aprovisionamiento en empresas fabricantes de prótesis híbridas para extremidades superiores e inferiores. El estudio fue de tipo documental, aplicado y de campo. Se recurrió a fuentes secundarias como informes institucionales, artículos científicos y estudios de mercado, además de recopilar datos directamente mediante encuestas y entrevistas aplicadas a actores clave del sector.

El alcance de la investigación fue descriptivo, orientado a caracterizar detalladamente los elementos que intervienen en la planificación del aprovisionamiento, tales como insumos, proveedores, condiciones de suministro y especificaciones técnicas; mientras que el diseño fue no experimental y transversal, ya que no se manipuló ninguna variable, sino que se analizaron tal como se presentan en el entorno real, en un determinado período de tiempo. Para la recolección de datos se emplearon técnicas como la indagación documental, encuestas con cuestionarios estructurados y entrevistas guiadas, que permitieron identificar fortalezas y debilidades en la gestión de insumos, así como establecer criterios para la formulación de un plan de aprovisionamiento ajustado a la

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

demandas futuras de prótesis transtibiales y transradiales.

Para dar solución a la problemática que motivó el desarrollo de la investigación se propone un procedimiento conformado por tres etapas fundamentales, las cuales engloban a un grupo de pasos (Figura 1).

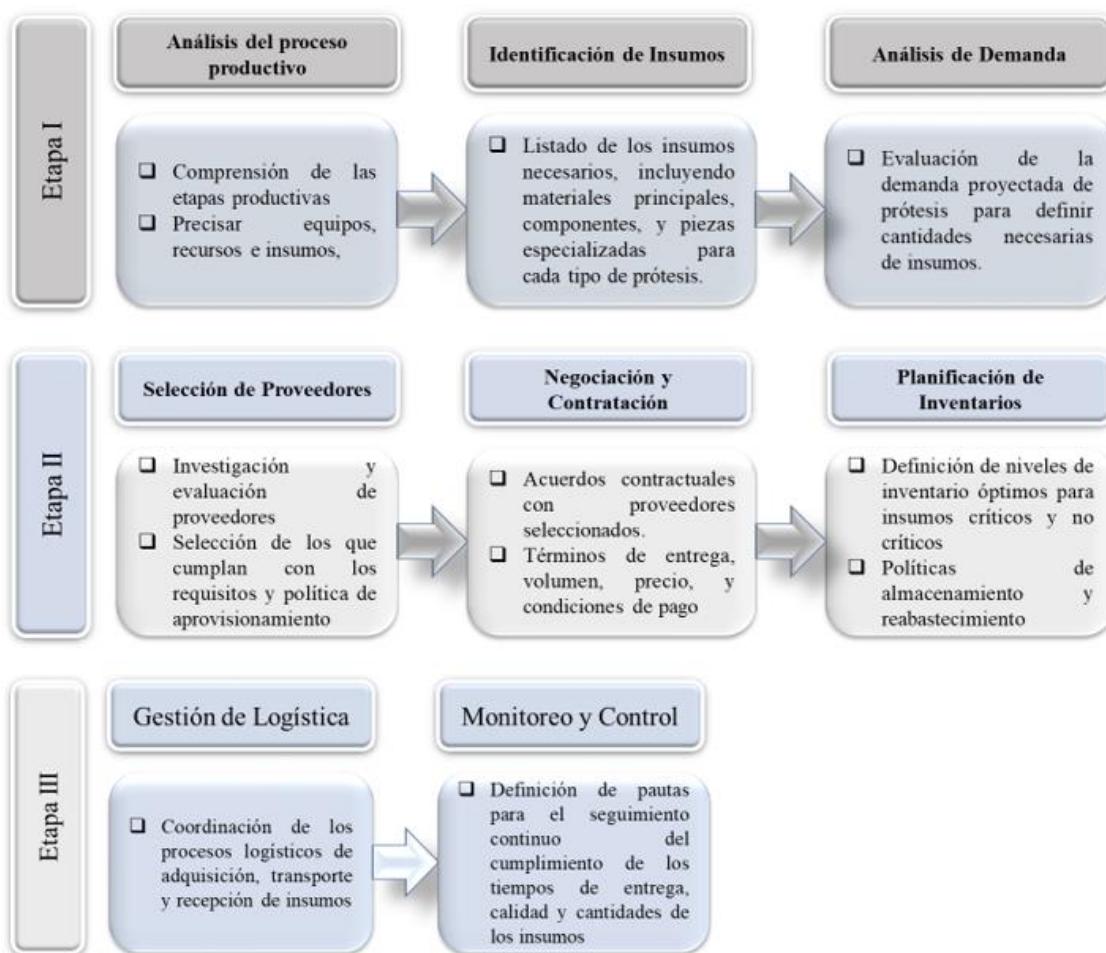


Figura 1. Procedimiento para la definición del plan de aprovisionamiento.

Elaboración: Los autores

En la primera etapa del procedimiento se desarrolla una caracterización del proceso producción de prótesis orientada a comprender y profundizar en su esencia, una identificación de las diferentes fases de fabricación, y se precisan los procedimientos

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

técnicos e insumos necesarios. Además, se lleva a cabo la previsión de la demanda futura del tipo de prótesis bajo estudio. Para desarrollar este último paso, primeramente, se propone pronosticar la demanda futura de prótesis mediante el método de la tasa de crecimiento simple (Ecuación 1) a partir de la información disponible sobre las personas con discapacidad que requieren este tipo de implemento. Luego, se estima el nivel de demanda insatisfecha a partir de restarle la cantidad de prótesis ofertada al pronóstico anterior.

$$P_f = P_0(1 + r)^t \quad [1]$$

Donde:

P_f: Población futura

P₀: Población inicial

R: Tasa de crecimiento anual

t: tiempo en años

La segunda etapa está conformada por tres pasos. Primeramente, se desarrolla el proceso de selección de proveedores a través de técnicas como el análisis comparativo de proveedores y el establecimiento de criterios de ponderación (Cui et al., 2024; Salvador et al., 2024), para identificar los que logren una mejor adaptación a los requisitos exigidos por la empresa, orientado principalmente a garantizar la calidad del producto final y la sostenibilidad del proceso de producción. En el segundo paso, a través de la metodología de Mejor Alternativa Posible a un Acuerdo Negociado (BATNA, por sus siglas en inglés) (Dobreva, 2021; Boothby et al., 2023) se precisan los elementos para establecer las negociaciones y contratación con los mejores proveedores de insumos para prótesis híbridas transtibial y transradial. En este paso se definen los elementos contractuales necesarios para asegurar la calidad del producto, dentro de los que se destacan los volúmenes de compra, los tiempos de entrega y las condiciones de pagos. En el tercer paso se realiza la planificación de inventarios, para lo cual se propone emplear un modelo de revisión continua (Putri et al., 2024) y un esquema de

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

reabastecimiento que garanticen niveles de inventario óptimos para los insumos y equipos necesarios en el proceso de producción, a la vez que generen un flujo constante de recursos sin ocasionar costos adicionales o rupturas en el aprovisionamiento. En este paso resulta indispensable la identificación de los insumos críticos en el proceso de fabricación, los cuales son los imprescindibles para el funcionamiento regular de la empresa y cuya interrupción puede generar un efecto económico de gran relevancia. Para realizar esta identificación se propone el empleo del método ABC (Kurniawan et al., 2022) o algún método multicriterial (Sahoo & Goswami, 2023; Taherdoost & Madanchian, 2023) que considere factores como la disponibilidad, el costo, el plazo de entrega y las opciones de abastecimiento.

La última etapa está orientada a sentar las pautas para el desarrollo del proceso logístico, su monitoreo y control. En este proceso se desarrollan las tareas de adquisición, transporte, recepción y almacenamiento de los insumos en la actividad productiva de la empresa, y se definen las políticas para asegurar su disponibilidad en las cantidades, tiempo y condiciones establecidas. Para ello se propone el empleo de técnicas para la gestión de rutas (Coloma-Salazar et al., 2022), el método de Simulación de Montecarlo (Banack et al., 2021) para evaluar las variaciones que pudieran presentarse en los tiempos de entrega de los proveedores y en los tiempos de fabricación, y el análisis de riesgos (Kalla et al., 2025) en el proceso de compras. Además, para desarrollar un monitoreo preciso de la efectividad del plan de aprovisionamiento se recomienda utilizar indicadores clave de desempeño dirigidos a evaluar el nivel de cumplimiento de entregas y parámetros de calidad de los insumos.

RESULTADOS

La aplicación práctica del procedimiento propuesto para la definición del plan de aprovisionamiento se inició con el análisis del proceso productivo de las prótesis objeto de estudio (transtibiales y transradiales). El proceso de fabricación de ambas prótesis se soporta en tecnología de vanguardia y empleo de software de modelaje tridimensional

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

para lograr mayor precisión en el diseño, acorde a los requerimientos de los pacientes. En el caso de la prótesis transradial, el proceso productivo integra tres fases: captura de medidas y visualización de la configuración inicial de la prótesis; digitalización y representación tridimensional; y, finalmente, prototipado y mecanismos donde se fabrica y coordina cada uno de los componentes.

El proceso de la prótesis transtibial también está compuesto por tres fases: la de captura de medidas, encargada de asegurar la simetría de la prótesis con la pierna sana del paciente; la de desarrollo del socket, pieza clave para garantizar la unión del muñón con la prótesis; y la etapa de ensamblaje, donde se realiza el montaje de todos los componentes. De igual manera, mediante observación, la consulta a personal técnico, y revisión de catálogos, se identificaron las especificaciones de cada actividad y tarea del proceso de fabricación de las prótesis híbridas, y con ello los insumos necesarios.

Para estimar la demanda futura de prótesis se consideró la información publicada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INEC, 2024) sobre indicadores asociados a personas con discapacidad que requieren este tipo de implemento. Se realizó la estimación, tanto de la demanda como se la oferta de prótesis y, mediante su diferencia, se determinó la demanda insatisfecha, obteniéndose los valores que se muestran en la Tabla 1.

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

Tabla 1.

Demandas insatisfechas para los dos tipos de prótesis, periodo 2025-2033.

Año	Demanda insatisfecha prótesis transradial	Demanda insatisfecha prótesis transtibial
2025	339	381
2026	343	449
2027	347	530
2028	351	626
2029	356	739
2030	360	873
2031	364	1 030
2032	369	1 216
2033	373	1 436

Elaboración: Los autores.

La selección de los “mejores” proveedores a emplear en el aprovisionamiento de los diferentes componentes de las prótesis incluyó la definición de un grupo de pautas a utilizar en la evaluación, y se realizaron encuentros con los candidatos, tanto de manera presenciales como telefónica y vía correo electrónico. Los criterios definidos para valorar y seleccionar a los proveedores fueron: cumplimiento y entrega, calidad y cumplimiento de especificaciones técnicas, documentación y garantías, servicio postventa, precio, capacidad instalada, y soporte técnico. Se decidió elegir a aquellos proveedores cuya puntuación obtenida, según la escala que se muestra en la Tabla 2, fuese superior a 3.9.

Tabla 2.

Rango final para seleccionar los proveedores.

Puntaje	Resultado
4,5 - 5,0	Excelente. Proveedor confiable y recomendado
3,9 - 4,4	Bueno. Proveedor confiable
3,0-3,8	Regular. Proveedor poco confiable. Condicionado y/o sancionado
0,0 - 2,9	No confiable. Proveedor no confiable. Restringido

Elaboración: Los autores.

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

En la Tabla 3, se especifica el proveedor con la mejor calificación para cada uno de los insumos de las actividades desarrolladas en el proceso de fabricación de la prótesis transradial.

La identificación del nivel de criticidad de los insumos empleados en el proceso de fabricación fue realizada mediante el método ABC, con la finalidad de identificar los más relevantes en los que debería concentrarse y enfocarse el plan de aprovisionamiento. Para ello se consideraron elementos como el índice de rotación de cada insumo generado a partir del número de unidades vendidas y el inventario promedio, y el nivel de participación, relevancia o proporción en que el insumo interviene en el proceso productivo.

Tabla 3.

Parámetros de cada subprocesso de fabricación, prótesis transradial.

Subprocesos	Insumos de cada subprocesso	Proveedor	Lead time del proveedor (días)
Captura de medidas	Escáner 3D	PROMEDAC	15
Digitalización 3D	Software	Autodesk	7
Impresión 3D de piezas	Filamento para impresión 3D PLA	Novatronic	7
	Filamento para impresión 3D PEG	Novatronic	7
Prototipado y mecanismo	Sensor de electromiografía (EMG)	Novatronic	15
	Cables del mecanismo	Megatrónica	15
	Microcontrolador	Novatronic	15
	Inter-integrated circuit	Novatronic	15
	Servomotor	Megatrónica	15

Elaboración: Los autores

El procesamiento de los datos disponibles arrojó que en el caso de la prótesis transradial es mayor la proporción de insumos catalogados como críticos (Figura 2).

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

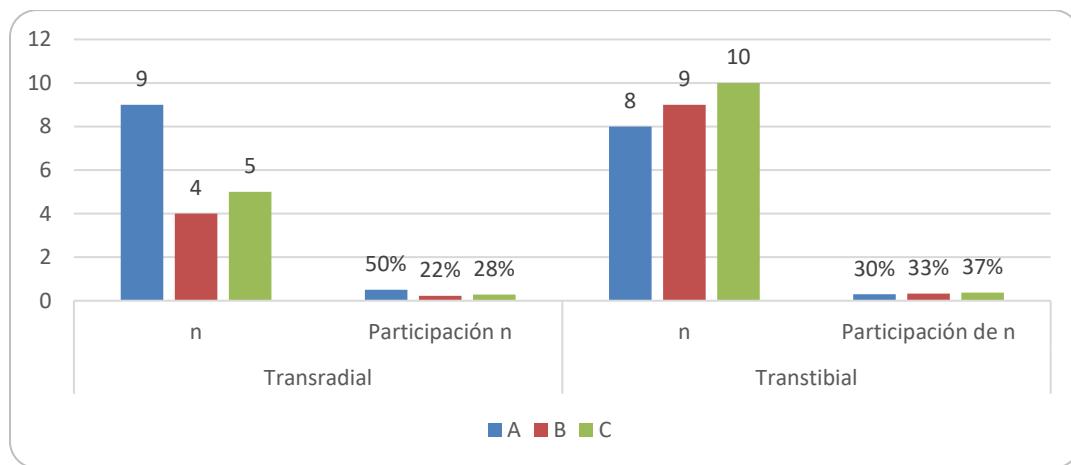


Figura 2. Resultados globales de la valoración ABC.

Elaboración: Los autores.

En estos casos se deben establecer estrategias de aprovisionamiento a largo plazo con estricto respeto a los tiempos de entrega por parte de los proveedores, así como una mejor planificación de las compras, pues estos insumos repercuten directamente en la continuidad del proceso productivo. En los insumos de menor relevancia (categoría C) se deben establecer estrategias de optimización de costos, dado que pueden ser adquiridos por lotes y con mayor facilidad.

Se realizó un chequeo presencial de la disponibilidad de un esquema de gestión de inventarios por parte de los proveedores y se pudo comprobar que en el 100 % de ellos tenían implementado un sistema que garantiza la posibilidad de abastecer los insumos que caracterizan la demanda de las empresas productoras de las prótesis híbridas, asegurando los tiempos de respuesta y la adaptabilidad con el cliente. Esta disposición de los proveedores resulta favorable, pues otorga estabilidad a la cadena de suministro y las empresas fabricantes de las prótesis pueden realizar proyecciones de aprovisionamiento con más certidumbre.

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

Se realizó la simulación, mediante el método de Monte Carlo, para evaluar la incertidumbre asociada a los tiempos de entrega por parte de los proveedores y de fabricación de las prótesis. Para ambos tipos de prótesis se consideraron los tiempos de entrega mínimo, promedio y máximo informados por los proveedores. Se emplearon las distribuciones Normal y Uniforme como criterios para definir los supuestos que posibilitan modelar adecuadamente la incertidumbre inherente al proceso logístico y productivo. Mediante la realización de 1000 iteraciones se pudo comprobar que es baja la probabilidad de ocurrencia de perturbaciones en el proceso de fabricación de las prótesis transtibiales y transradiales debido a las posibles variaciones en los tiempos de entrega de insumos por parte de los proveedores seleccionados.

Debido a que aún no se dispone de información sobre la implementación prolongada de la propuesta, se aplicó un grupo de encuestas a los proveedores de los insumos utilizados en el proceso de fabricación de las prótesis, orientadas a monitorear la efectividad del plan de aprovisionamiento propuesto desde el punto de vista de:

- El tiempo de entrega de insumos por parte de los proveedores (el 80% de los proveedores entregan los insumos necesarios para la fabricación de prótesis transtibial y transradial en menos de una semana, lo cual es una ventaja significativa para los fabricantes, ya que les permite mantener un flujo de producción constante y cumplir con plazos de entrega ajustados).
- La posibilidad de extensión de los tiempos de entrega (más del 90 % de los analizados no han tenido que hacer extensiones lo que refleja su capacidad para realizar las entregas acorde a los lapsos establecidos, generando un panorama de estabilidad para las operaciones de fabricación de prótesis).}
- La disponibilidad de un esquema de gestión de inventario (el 100 % cuentan con algún tipo de esquema para gestionar su inventario y disponen de un apropiado control de la cantidad y calidad de mercancía en sus bodegas).
- La visión sobre la calidad de los insumos que suministran (el 100 % manifiesta que venden productos de excelencia),

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

- El uso de tecnologías de apoyo en la cadena de suministro (los proveedores disponen de tecnologías como software para el control de inventario, equipos de computación y sistemas de verificación de parámetros asociados con cada producto que comercializan, lo cual garantiza mejor control, datos más precisos y celeridad).
- La capacidad de adaptarse a los cambios de la demanda de los clientes (el 93 % de los encuestado plantea que les resulta fácil adaptarse a estos cambios, lo que demuestra su conocimiento del mercado y su conciencia de que pueden presentarse fluctuaciones en los pedidos de las empresas que fabrican este tipo de dispositivos para personas amputadas).
- La capacidad para predecir la demanda futura (el 87 % considera que tienen la capacidad y estrategias para realizar predicciones de la demanda, garantizando estar listos para satisfacer las solicitudes del mercado).

La valoración realizada a proveedores de insumos para prótesis transtibial y transradial sobre la base de criterios como tiempo de entrega, soporte post venta, precio, capacidad instalada, calidad, entre otros, fue determinante para visualizar que tan confiables pudieran ser los mismos, y así ayudar a que se genere un panorama de estabilidad y confiabilidad para los fabricantes de prótesis, pues se dispone de una cadena de suministro caracterizada por la disponibilidad de materiales de calidad y una capacidad de respuesta que ayuda a los fabricantes.

DISCUSIÓN

Los resultados alcanzados en esta investigación confirman la viabilidad de establecer un plan de aprovisionamiento basado en la previsión de demanda insatisfecha para la fabricación de prótesis híbridas de extremidades superiores e inferiores. Se observa un conjunto de aspectos destacados en el comportamiento y desempeño de los proveedores seleccionados que favorecen la efectividad el proceso productivo, dígase: capacidad de

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

los proveedores para realizar entregas de insumos en cortos períodos de tiempo y de manera estable, así como el empleo de manera generalizada de tecnologías avanzadas para la gestión de inventarios y control de la calidad de los suministros.

Los resultados obtenidos por Maldonado-Moreno et al. (2024) mediante la revisión realizada sobre metodologías de producción de prótesis de miembro inferior se alinea con los hallazgos anteriores, y destaca los crecientes desafíos técnicos y logísticos que en la actualidad enfrentan los fabricantes para satisfacer las necesidades del mercado. En ese contexto, los resultados de esta investigación aportan evidencia empírica sobre cómo la previsión de demanda y la capacidad de adaptación de los proveedores pueden mitigar dichos desafíos, permitiendo una respuesta más ágil y eficiente ante las fluctuaciones del mercado.

Asimismo, en la investigación se identifican coincidencias significativas con el estudio realizado por Marin et al. (2023) sobre el impacto del Banco de Prótesis en Argentina. En ambos estudios se concluye que resulta crucial la adecuada gestión de la demanda futura como fuente de mejora de la efectividad del sistema, ya sea desde el punto de vista productivo como asistencial. Además, coinciden en que garantizar la disponibilidad oportuna de los insumos contribuye a la mitigación de riesgos operativos, la mejora de la planificación y programación de la producción, y a la sostenibilidad del sistema.

Los resultados obtenidos, además de respaldar la propuesta metodológica propuesta, la posicionan de manera favorable respecto a otras investigaciones desarrolladas con anterioridad, dado que se ha demostrado la posibilidad de proyectar la producción y planificar el aprovisionamiento de sus insumos de manera efectiva en función de la demanda futura.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se propone un procedimiento metodológico orientado a la definición de un plan de aprovisionamiento para empresas fabricantes de prótesis híbridas transtibiales y transradiales, que contribuye a la optimización de sus procesos

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

productivos y logísticos. El análisis del entorno operativo evidenció el riesgo significativo que representa la ausencia de protocolos definidos en la adquisición de insumos para la sostenibilidad y eficiencia de estas empresas, especialmente ante crecimientos pronosticados de la demanda.

El procedimiento propuesto está integrado por tres etapas representativas de un adecuado plan de aprovisionamiento. Se comienza con una caracterización del proceso productivo y pronóstico de la demanda futura, luego la selección de los mejores proveedores de insumos y planificación de inventarios, y finaliza con la gestión y monitoreo del proceso logístico. Mediante la aplicación de manera integral de un grupo de técnicas, donde destacan la previsión de demanda mediante la tasa de crecimiento simple, la clasificación ABC de insumos, la revisión continua de inventarios y la simulación de Montecarlo, se logró modelar con mayor precisión la incertidumbre inherente al proceso de aprovisionamiento y se establecieron pautas sólidas para la toma de decisiones estratégicas.

Los resultados obtenidos mediante la implementación de la propuesta demuestran que, siempre que se logren implementar criterios técnicos en la selección de los proveedores de recursos y tecnología, junto con la identificación precisa de los insumos críticos y la utilización sistemática de herramientas de simulación adecuadas, es posible alcanzar un elevado nivel de confiabilidad en la cadena de suministros de prótesis híbridas transtibiales y transradiales.

El procedimiento desarrollado constituye una herramienta estratégica integral para mejorar la capacidad de respuesta de las empresas fabricantes de prótesis híbridas transtibiales y transradiales, garantizar la disponibilidad de insumos de manera oportuna, así como aumentar la calidad de la producción final a partir de la predicción precisa de la demanda futura, impactando favorablemente en la calidad de vida de los pacientes.

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

FINANCIAMIENTO

No monetario

AGRADECIMIENTOS

A todos los actores sociales involucrados en el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Akben, I. & Akben, S. (2025). A review of 3D/4D/5D printing applications for Biomedical Supply Chain. *Journal of Turkish Social Sciences Research*, 10(1), 54-68.
- Al-Masa'afah, W., Abushaikh, I., & Bwaliez, O. M. (2024). Exploring the role of additive manufacturing in the prosthetic supply chain: qualitative evidence. *The TQM Journal*. <https://doi.org/10.1108/TQM-02-2024-0071>
- Ambrogio, G., Borgia, C., Bortolini, M., Catapano, G., Conforti, D., De-Napoli, L., Gagliardi, F., Galizia, F. G., Guido, R., Longo, F., Mirabelli, F., Mirabelli, G., Mundo, D., Regattieri, A., Saffioti, M. R., Scordamaglia, G., Solina, V., Umbrello, D., & Veltri, P. (2025). Industry 5.0 in healthcare: an integrated framework for human-centered prosthetics design and manufacturing. *Procedia Computer Science*, 253, 3288–3297. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.02.053>
- Anilkumar, E. N., & Sridharan, R. (2019). Sustainable Supply Chain Management: A Literature Review and Implications for Future Research. *International Journal of System Dynamics Applications*, 8(3), 15-52. <https://doi.org/10.4018/IJSDA.2019070102>
- Balloni, A., Monferdini, L., & Bottani, E. (2025). The Impact of Additive Manufacturing on Supply Chain Management: Trends, Challenges and Future Directions. *Procedia Computer Science*, 253, 2961–2970. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.02.020>
- Banack, H. R., Hayes-Larson, E., & Mayeda, E. R. (2021). Monte Carlo Simulation Approaches for Quantitative Bias Analysis: A Tutorial Free. *Epidemiologic Reviews*, 43(1), 106–117. <https://doi.org/10.1093/epirev/mxab012>
- Bessadet, M., Auduc, C., Drancourt, N., Nicolas, E., & Osta, N. E. (2025). Comparative analyses of time efficiency and cost in fabricating fixed implant-supported prostheses in digital, hybrid, and conventional workflows: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 133(3), 689-712. <https://doi.org/10.1016/j.jprosdent.2024.06.024>

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

Boothby, E. J., Cooney, G. & Schweitzer, M. E. (2023). Embracing Complexity: A Review of Negotiation Research. *Annual Review of Psychology*, 74, 299-332. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-033020-014116>

Coloma-Salazar, M. E., Arzola-Ruiz, J., & Marrero-Fornaris, C. E., (2022). La gestión de la distribución y la planificación de rutas en el sector empresarial cubano. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(5), 357-368. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v14n5/2218-3620-rus-14-05-357.pdf>

Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (2023). Personas con discapacidad. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>

Cui, X., Qi, B., & Hussain, M. J. (2024). Vendor sustainability performance and corporate customers' supplier selection. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 31(4), 2910-2928. <https://doi.org/10.1002/csr.2727>

Dobreva, H. (2021). Reframing Best Alternatives to Negotiated Agreements in Representative Negotiations in Sports. *Strategies for Policy in Science and Education*, 29(4s), 144-152. <https://doi.org/10.53656/str2021-4s-16-refra>

Kalla, C., Scavarda, L. F. & Hellingrath, B. (2025). Integrating supply chain risk management activities into sales and operations planning. *Review of Managerial Science*, 19, 467–497. <https://doi.org/10.1007/s11846-024-00756-y>

Kurniawan, S., Saragih, M. H., & Angelina, V. (2022). Inventory Control Analysis with Continous Review System and Periodic Review System Methods at PT. XYZ. *Business Economic, Communication, and Social Sciences*, 4(2), 95-107. <https://doi.org/10.21512/becossjournal.v4i2.8143>

Maldonado-Moreno, J. F., Martínez-Castañeda, J. S., Beltrán-Malaver, Y. D., Riveros-Pineda, I. C., & Tovar-Hernández, G. D. (2024). Metodología de producción de prótesis de miembro inferior: una revisión exhaustiva. *Revista UIS Ingenierías*, 23(2), 167-186. <https://doi.org/10.18273/revuin.v23n2-2024011>

Mamo, H. B., Adamiak, M., & Kunwar, A. (2023). 3D printed biomedical devices and their applications: A review on state-of-the-art technologies, existing challenges, and future perspectives. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*,

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

143, 105930. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.105930>

Marin, G. H., Luzuriaga, P., Giangreco, L., Iusef-Venturini, N., Blanco, D., Dorati, C. & Mordujovich-Buschiazzo, P. (2023). Impacto sanitario económico de dos modelos de provisión de prótesis desde un sistema público de salud. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 47. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2023.153>

Menghwar, A. K., & Ali, M. (2026). How industry 4.0 affected prostheses manufacturing. *Journal of Innovations in Business and Industry*, 04(1), 55-68. <https://doi.org/10.61552/JIBI.2026.01.006>

Noodaeng, S., Petchmedyai, P., Janthasen, A., Ponthip, A., Neamhom, T., Patthanaissaranukool, W. (2025). Comparative carbon footprint analysis of semi-digital and fully digital implant-supported prosthesis fabrication processes. *Environmental Challenges*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101294>

Olivarez-Areyan, J. J., Ramírez-Márquez, C., Ponce-Ortega, J. M., Nápoles-Rivera, F. (2025). Optimizing the supply chain for 3D-printed medical prostheses: Balancing cost and environmental impact. *Chemical Engineering Research and Design*, 217, 175–188. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2025.03.037>

Peron, M., Saporiti, N., Shoeibi, M., Holmström, J., & Salmi, M. (2025). Additive manufacturing in the medical sector: from an empirical investigation of challenges and opportunities toward the design of an ecosystem model. *International Journal of Operations & Production Management*, 45(2), 387–415. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2023-0948>

Pham, H. T., Testorelli, R., & Verbano, C. (2023). The impact of operational risk on performance in supply chains and the moderating role of integration. *Baltic Journal of Management*, 18(2), 207-225. <https://doi.org/10.1108/BJM-10-2021-0385>

Putri, A. S., Ridwan, A. Y., & Muttaqin, P. S. (2024). Optimizing inventory policy in a plywood retail company using continuous review method and multi criteria classification. *AIP Conference Proceedings*, 2951, 030018. <https://doi.org/10.1063/5.0192732>

Sahoo, S. K., & Goswami, S. S. (2023). A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions. *Decision Making Advances*, 1(1), 25-48. <https://doi.org/10.31181/dma1120237>

Marjorie Tatiana Ramos-Quintero; Stiven Alexander Realpe-Mera; Ángel Geovanny Guamán-Lozano; Jaime Iván Acosta-Velarde

Salvador, G., Moura, M., Campos, P., Cardoso, P., Espadinha-Cruz, P., Godina, R. (2024). ELECTRE applied in supplier selection. A literature review. *Procedia Computer Science*, 232, 1759-1768. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.174>

Shi, Y., Zheng, X., Venkatesh, V. G., Al-Humdan, E., & Paul, S. K. (2022). The impact of digitalization on supply chain resilience: an empirical study of the Chinese manufacturing industry. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 38(1), 1-11. <https://doi.org/10.1108/JBIM-09-2021-0456>

Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)