



Sobral y Ferreira (2018) argumentan que los principios fundamentales del mantenimiento —mejora continua, rendimiento y aumento de vida útil— son la base del pensamiento Lean. El mantenimiento y la eficiencia, en efecto, crean resultados positivos para la sociedad que van más allá de la eliminación de desperdicios. Las estrategias de mantenimiento eficaces generan mejoras de triple resultado: menor índice de lesiones, impactos positivos en la cadena productiva y aumento en la vida útil de los activos.

El mantenimiento también juega un papel crucial en la sostenibilidad ambiental; al prolongar la vida útil de los activos, se reducen las emisiones y los residuos, así como el consumo de energía y agua. Se ha demostrado que un programa de mantenimiento eficiente puede suponer un ahorro del 20% en el uso de materias primas y hasta un 35% en costos energéticos en el sector residencial. Asimismo, en el sector automotriz, se ha demostrado una reducción del 30% de las emisiones tras el mantenimiento de los vehículos. En términos económicos, el mantenimiento reduce los costos, mejora la utilización y ayuda al cumplimiento normativo, lo que se traduce en una mayor eficiencia y rentabilidad para las organizaciones [4].

### 1.3. La gestión de repuestos como eje principal

A pesar del seguimiento intensivo del estado de la maquinaria, incluso la de alta gama, siempre se necesitarán repuestos industriales de algún tipo.

La gestión de piezas de repuesto, que abarca la planificación, adquisición, almacenamiento y distribución de las partes necesarias para el mantenimiento y las reparaciones sobre los activos, tradicionalmente ha llevado a que las organizaciones mantengan inventarios propios, que a menudo son superiores a las necesidades inmediatas. Una gestión adecuada de los repuestos es fundamental para optimizar las

actividades de mantenimiento y prolongar la vida útil de los activos.

Por lo tanto, es imprescindible plantearse los mecanismos y estrategias de obtención de los repuestos para el mantenimiento de los activos, con un horizonte de mediano y largo plazo. Desafortunadamente, algunos activos se diseñan sin prever fallos productivos o incluso se manufacturan explícitamente bajo criterios de obsolescencia programada, con graves efectos sobre la eficacia y la sostenibilidad en su ciclo de gestión.

La falta de disponibilidad de piezas de repuesto para la ejecución de las actividades de mantenimiento hace a menudo inviable la reparación de los activos, y tiene como consecuencia la generación de residuos industriales evitables, el uso de ingentes volúmenes de materias primas y mayores costos para las organizaciones [5].

## **2. Planificación y estrategias contractuales**

### 2.1. Planificación de la demanda a largo plazo

#### Identificación de necesidades

La planificación y programación del mantenimiento —funciones descuidadas de la gestión de activos moderna—, son la base de un sistema de gestión de mantenimiento eficaz. Mediante el uso de órdenes de trabajo y sistemas computarizados (CMM), la planificación del mantenimiento abarca las actividades corto, mediano y largo plazo para planificar, programar y controlar las actividades y optimizar los recursos disponibles.

Las organizaciones que hacen uso intensivo de sus activos reconocen la importancia de la planificación y programación eficiente del mantenimiento para lograr la confiabilidad de los equipos y la excelencia operativa. Sin embargo, algunas organizaciones tienen dificultades para que sus procesos de

planificación y demanda de repuestos sean tan eficaces como deberían. Estudios revelan que la mayoría de las empresas aún carecen de una planificación de mantenimiento efectiva, impactando negativamente la efectividad del trabajo, la disponibilidad, la confiabilidad y el costo de los equipos. A largo plazo, los eventos de falla no planificados conducen al desabastecimiento de repuestos, impactando el cumplimiento de metas [6].

#### Uso de herramientas tecnológicas

En este contexto, la implementación de métodos estadísticos avanzados y algoritmos de aprendizaje automático para ayudar a predecir con mayor precisión la demanda futura de partes para mantenimiento – determinar dónde y cuánto de cada pieza debe almacenarse– cobra cada vez mayor interés.

En efecto, sin el apoyo de este tipo de herramientas de dedicadas al análisis de información –datos históricos, tendencias del mercado y factores externos como la estacionalidad y los indicadores económicos, además de las variables relacionadas directamente con el activo y la operación–, el pronóstico de la demanda de piezas y partes a incluir en el almacén de repuestos es un trabajo impreciso y titánico.

#### 2.2. Estrategias proactivas de adquisición

La confiabilidad y la disponibilidad de los equipos y activos físicos se logra mediante un equilibrio entre las reparaciones reactivas, el mantenimiento preventivo y el predictivo; esto implica altos niveles de planificación y disponibilidad de piezas, partes y repuestos necesarios para lograr este equilibrio y garantizar la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones. Por ello, el éxito de la gestión de repuestos depende de alcanzar un objetivo esencial: la combinación de los costos implícitos en la adquisición de los repuestos con los costos del riesgo que corre la organización al no tenerlos. Cuando ambos se encuentran bien balanceados y el manejo de

inventarios es eficiente, se logra una gestión de repuestos exitosa.

Para mantener el balance costo-riesgo y asegurar el *stock* de seguridad, en particular para piezas críticas, las alianzas estratégicas con proveedores son fundamentales. Establecer relaciones de largo plazo, basadas en beneficio mutuo, se traduce en una mejor planificación de la demanda con acuerdos de nivel de servicio óptimos. Trabajar en conjunto con los proveedores también permite optimizar los niveles de inventario, reducir los costos de almacenamiento y minimizar el riesgo de desabastecimiento [7].

#### Lista de materiales y demanda futura

Los Bill of Materials (BoM) o listas de materiales, son un componente esencial en la gestión del mantenimiento. Al ser un inventario detallado de todas las partes y materiales necesarios para un equipo o activo en específico, juegan un papel crucial en la planificación de la demanda futura de materiales. Al tener plenamente identificadas las necesidades, se pueden anticipar las necesidades futuras y aprovisionarse de manera proactiva lo que reduce el riesgo de desabastecimiento y optimiza los niveles de inventario. Las revisiones periódicas de los BoM garantizan que se mantengan actualizados, lo que ayuda a gestionar la obsolescencia y evitar pasar por alto nuevos requisitos.

#### 2.3. Maximización de la eficiencia en mantenimiento

En este punto podemos entender cómo la planificación de la demanda de repuestos se convierte en un pilar fundamental para maximizar la eficiencia en el mantenimiento de los activos industriales. Anticipar las necesidades futuras de repuestos, basándose en el historial de fallas, el análisis de criticidad y los programas de mantenimiento preventivo, optimiza los niveles de inventario, y reduce

costos de almacenamiento y de obsolescencia. Esto permite a los equipos de mantenimiento contar con los repuestos adecuados en el momento oportuno, minimizando los tiempos de inactividad de los equipos y agilizando las reparaciones.

A la par, las estrategias contractuales para la adquisición de piezas y repuestos complementan la planificación de la demanda, potenciando la eficiencia en el mantenimiento mediante acuerdos a largo plazo con proveedores estratégicos. Los contratos de suministro también pueden incluir cláusulas de disponibilidad y soporte técnico especializado, garantizando la atención de situaciones críticas o de emergencia. Al combinar una planificación precisa de la demanda con estrategias contractuales inteligentes, las organizaciones pueden optimizar la gestión de repuestos, reducir costos y mejorar la eficiencia y la confiabilidad de sus operaciones [8].

### 3. Prácticas sostenibles para gestión de repuestos

#### 3.1. Repuestos centrados en confiabilidad

La metodología RCS –Repuestos Centrados en la Confiabilidad–, es un enfoque sistemático y estructurado derivado del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Su objetivo principal es optimizar los niveles de inventario de repuestos críticos, basándose en un análisis profundo de las consecuencias de una demanda no satisfecha. En lugar de simplemente almacenar grandes cantidades de repuestos, el RCS analiza la criticidad de cada componente, la probabilidad de falla y el impacto que tendría su indisponibilidad en la operación. De esta manera, se priorizan aquellos repuestos que son esenciales para mantener la operatividad de los equipos y se establecen niveles de inventario óptimos para cada uno, minimizando costos de almacenamiento y obsolescencia.

La aplicación de la metodología RCS permite a las organizaciones reducir significativamente los costos del inventario y los riesgos de desabastecimiento, evitando el almacenamiento excesivo de repuestos. Por otro lado, se asegura la disponibilidad de los repuestos críticos para el funcionamiento de los equipos, minimizando los tiempos de inactividad e incrementando la disponibilidad. El RCS también contribuye a mejorar la planificación del mantenimiento ya que, al conocer la criticidad de los componentes y la probabilidad de falla, se pueden programar las actividades de mantenimiento de manera más eficiente. Además, al optimizar la gestión de repuestos, se y se mejora la confiabilidad general de los activos. [9]

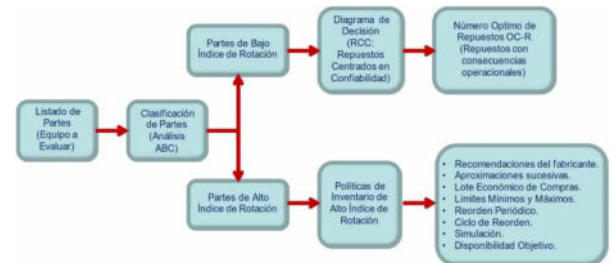


Figura 2. Metodología RCS: Predictiva 21 [16]

#### 3.2. Aplicación de prácticas 3R+H

##### Remanufactura

La remanufactura es un proceso industrial que regenera componentes que han llegado al final de su vida útil, devolviéndolos a un estado igual o superior al original. Este proceso incluye desmontaje, limpieza, reparación, sustitución de piezas desgastadas y pruebas para asegurar la calidad y el desempeño del producto remanufacturado. A diferencia de las reparaciones simples, la remanufactura garantiza el cumplimiento de estándares como si el producto fuera nuevo, ofreciendo ventajas económicas significativas al reducir costos de producción y evitar la compra de nuevos materiales. Además, al reutilizar recursos existentes, se ahorra en costos de eliminación y aprovisionamiento de materias primas,

contribuyendo a una gestión más económica y sostenible. [10]

### Reparación

Esta práctica es esencial ya que ofrece ventajas significativas en costos, reducción de tiempos de inactividad y sostenibilidad; mediante técnicas avanzadas y equipos especializados, es posible restaurar componentes mecanizados a su funcionalidad original, prolongando así su vida útil. En un entorno donde la precisión y la durabilidad son fundamentales, la reparación de componentes se convierte en una solución indispensable para mantener la competitividad y la productividad en el sector industrial. Por ello, es de crucial importancia, mantener actualizadas las mejores prácticas y las últimas tecnologías en reparación, para garantizar que los equipos continúen funcionando de manera óptima, asegurando así la confiabilidad de los activos industriales. [11]

### Reúso

El reúso de partes en el mantenimiento industrial es una práctica fundamental que consiste en aprovechar componentes funcionales de equipos en desuso para reparar o restaurar otros bajo un aseguramiento técnico y metrológico. Esta estrategia no solo optimiza recursos y reduce costos, al evitar la adquisición de piezas nuevas, sino que también contribuye a la sostenibilidad, pues disminuye la generación de residuos y prolonga la vida útil de los activos.

Al implementar programas de reúso de partes, las organizaciones pueden mejorar la eficiencia de sus operaciones de mantenimiento, reducir su huella de carbono y avanzar hacia un modelo de economía circular.

### Homologación

La homologación es un proceso técnico mediante el cual se verifica y certifica que un producto, componente o material cumple con las normas, estándares y especificaciones técnicas establecidas, garantizando su calidad,

seguridad y desempeño. Para implementarla, es clave definir claramente los objetivos de la misma y establecer criterios de evaluación rigurosos; desde una perspectiva científica, se deben caracterizar los materiales y evaluar conforme a las normas vigentes y estándares aplicables, considerando las condiciones de servicio de la pieza, además de documentar todo el proceso de manera precisa. Estos aspectos permiten anticipar los mecanismos de fallo, detectando los parámetros críticos del material y posibilitando cambios en el diseño de los componentes para evitarlos.

### 3.3. Reducción de costos e impacto ambiental

Desde una perspectiva ambiental, las prácticas 3R+H emergen como una solución poderosa para los desafíos de sostenibilidad, puesto que reducen drásticamente la necesidad de extraer y procesar nuevos materiales, lo que a su vez disminuye las emisiones de carbono y la generación de residuos industriales. La innovación tecnológica, especialmente en el sector metalmecánico, ha impulsado la eficiencia y la calidad de la remanufactura, convirtiéndola en una práctica exitosa. Tecnologías como la impresión 3D, el procesamiento avanzado de materiales y la automatización industrial juegan un papel crucial en este proceso, permitiendo una regeneración más rápida y precisa de los componentes.

En síntesis, la economía circular, con sus múltiples bucles de regeneración de valor, abarca diversas estrategias como la reparación, renovación, reacondicionamiento, remanufactura y reciclaje de materias primas. Este modelo se basa en la reutilización de productos y componentes al final de su vida útil, transformándolos en recursos para actividades que mejoran su rendimiento. En este marco, la remanufactura, como el proceso de regeneración de valor más riguroso y estructurado, ofrece una alternativa sostenible y eficiente para la industria. [12]



## 4. Tecnologías aplicadas al mantenimiento

### 4.1. Monitoreo de activos, detección de fallas

Durante mucho tiempo, el mantenimiento ha sido visto como un gasto inevitable, en lugar de una inversión rentable; sin embargo, la incorporación de tecnologías como la IA y la informática de punta están transformando esta percepción, permitiendo a las organizaciones obtener ventajas competitivas. La automatización del mantenimiento industrial ofrece múltiples beneficios, incluyendo ahorros en costos operativos gracias a la detección temprana de fallas y la optimización de recursos y materiales; además de reducir los tiempos de inactividad mediante el monitoreo y diagnóstico predictivo de los activos, minimizando así los tiempos muertos por eventos no planificados.

A través del diagnóstico en línea y el monitoreo de activos, se impulsa la sostenibilidad y la confiabilidad. Al reducir el riesgo de incidentes y eventos de falla, se protege la seguridad y se previenen daños en los equipos. La detección temprana de fallas optimiza el uso de recursos y minimiza el desperdicio, promoviendo así la sostenibilidad y brindando a la par mejoras en la planificación del mantenimiento, al reducir interrupciones y maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos. Estos aspectos impactan positivamente la rentabilidad de las organizaciones y permiten priorizar el mantenimiento proactivo y predictivo, alargando así la vida útil de los equipos y reduciendo el impacto ambiental.

### 4.2. Fabricación aditiva de piezas

La fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, ofrece una alternativa más sostenible y eficiente a los métodos de producción tradicionales. Esta tecnología permite crear objetos capa por capa, lo que reduce significativamente el desperdicio de

material en comparación con los procesos sustractivos. Además, la fabricación aditiva facilita la producción bajo demanda, lo que significa que las empresas pueden fabricar piezas y repuestos solo cuando los necesitan, evitando el almacenamiento excesivo y el transporte de grandes cantidades de repuestos, gestionando simultáneamente el riesgo por obsolescencia del inventario.

En resumen, la fabricación aditiva contribuye a la sostenibilidad al reducir el desperdicio, optimizar el inventario y disminuir la huella de carbono de las operaciones de mantenimiento.



Figura 3. Beneficios clave de la fabricación aditiva [13]

### 4.3. Reducción de inventario y tiempos de entrega

La aplicación del internet de las cosas (IoT) en el mantenimiento industrial está revolucionando la gestión del inventario de repuestos y los tiempos de entrega. A través del mantenimiento predictivo, los sensores IoT recopilan datos en tiempo real sobre el rendimiento de los equipos, lo que permite anticipar fallas y programar el mantenimiento de manera proactiva. Esto se traduce en una reducción significativa del tiempo de inactividad de los equipos, una optimización de los niveles de inventario de repuestos y una disminución del *lead time* general de producción.

La gestión inteligente del inventario, impulsada por dispositivos IoT permite

también generar alertas de *stock* bajo, y optimizar las rutas de recogida y almacenamiento. Esto permite reducir los costos de inventario, al evitar el exceso de *stock* y la obsolescencia.

Asimismo, la optimización de la cadena de suministro, facilitada por la conexión con proveedores y la visibilidad en tiempo real de los envíos, permite coordinar la entrega de repuestos y suministros de manera más eficiente. En resumen, la aplicación de tecnología a la gestión del mantenimiento permite predecir fallas, optimizar el inventario, agilizar procesos, mejorar la colaboración con proveedores y reducir el *lead time*, lo que se traduce en una mayor eficiencia y rentabilidad.

## **5. Gestión de riesgos y calidad**

### **5.1. Importancia de la gestión de riesgos**

La gestión de riesgos en las prácticas de 3R+H para repuestos y piezas de mantenimiento para equipos industriales es fundamental para garantizar la seguridad, confiabilidad y rendimiento de los activos. El uso de repuestos no originales o reacondicionados sin el debido aseguramiento puede comprometer la seguridad del personal y los activos, afectar la confiabilidad y el rendimiento e invalidar la garantía y dañar la imagen de la empresa.

Para mitigar estos riesgos, es crucial implementar un sistema de gestión de riesgos que incluya la evaluación y selección de proveedores confiables, la inspección y control de calidad de los repuestos, la documentación y trazabilidad de estos, la capacitación del personal en su uso y el seguimiento y monitoreo continuo del rendimiento de los equipos y repuestos.

Al adoptar un enfoque proactivo en la gestión de riesgos, las empresas pueden minimizar los riesgos asociados al uso de repuestos no

originales o reacondicionados, asegurando la operación segura y eficiente de sus equipos industriales, evitando paradas no planificadas, reduciendo costos a largo plazo y protegiendo su reputación. [14]

### **5.2. Garantías y calidad de partes de 3R+H**

La calidad de las partes remanufacturadas, reusadas u homologadas es un factor crítico para las organizaciones que buscan optimizar costos sin sacrificar el rendimiento y la seguridad de sus activos. Es fundamental distinguir claramente entre partes remanufacturadas (reacondicionadas a fondo), reusadas (inspeccionadas y listas para usar) y homologadas (nuevas, pero no originales, certificadas como equivalentes). Los criterios de calidad deben ser rigurosos, abarcando materiales, procesos, tolerancias y pruebas exhaustivas.

La trazabilidad es esencial para conocer el origen e historial de las partes, evaluando su confiabilidad y facilitando la resolución de problemas; las certificaciones de calidad y garantías adecuadas ofrecidas por proveedores son indicadores de confianza, así como la inspección de las partes antes de su uso y el mantenimiento preventivo para asegurar la calidad y el funcionamiento óptimo. Si bien el costo es importante, no debe ser el único criterio; la calidad y confiabilidad deben ser prioritarias, considerando también la disponibilidad y sostenibilidad. Al seguir estas consideraciones, las organizaciones pueden usar partes 3R+H de manera segura y eficiente, optimizando costos y recursos sin comprometer el rendimiento y la seguridad. [15]

### **5.3. Alineación operativa y estratégica**

La alineación vertical entre las áreas operativas y estratégicas es fundamental para implementar con éxito las prácticas de 3R+H en el

mantenimiento de activos industriales. Esta sinergia garantiza que los objetivos de sostenibilidad se integren de manera fluida en el marco estratégico de la organización y se ejecuten eficientemente en las operaciones diarias.

La alineación estratégica implica definir objetivos claros en torno a las prácticas 3R+H, alineados con los objetivos organizacionales. Esto incluye evaluar el impacto potencial de estas prácticas en la calidad, la seguridad, los costos y la sostenibilidad de los activos a largo plazo; por ello, es vital involucrar a todas las partes interesadas para asegurar un enfoque integral y participativo. Por otro lado, la alineación operativa debe centrarse en implementar procesos eficientes y optimizados que garanticen que las actividades de 3R+H cumplan con los estándares y normativas aplicables.

Para gestionar el inventario de manera eficiente y evitar el exceso de existencias será necesario involucrar y capacitar al personal, brindando formación y desarrollo continuo para que los empleados adquieran las habilidades necesarias y adopten de manera natural y efectiva las prácticas 3R+H. Por último, se deben establecer mecanismos de seguimiento y evaluación periódica para medir el rendimiento de las partes y componentes, identificar áreas de mejora y realizar ajustes según sea necesario.

Al lograr una alineación sólida entre las áreas estratégicas y operativas, las organizaciones pueden maximizar los beneficios de las prácticas 3R+H, optimizar el mantenimiento de sus activos industriales y avanzar hacia un futuro más sostenible.

## **6. Conclusiones**

El liderazgo de la alta dirección facilita sustancialmente la adopción de prácticas de sostenibilidad y el sostenimiento de las mismas dentro de la organización.

Uno de los aspectos clave para la implantación de las prácticas 3R+H es la integración entre las áreas de abastecimiento, operaciones y gestión de activos.

La adopción de herramientas tecnológicas junto a la planeación anticipada de la demanda, contribuye al mejoramiento de los índices de disponibilidad y a una reducción sustancial de los costos de mantenimiento.

Es imperativo asegurar el proceso de seguimiento y mejora para identificar brechas y mejoras en torno a las prácticas 3R+H.

La medición de la vida útil de componentes permite desarrollar análisis de costo-beneficio para evaluar el uso de componentes nuevos frente a prácticas de 3R+H.

Bajo el modelo propuesto, los equipos de confiabilidad e inventarios se enfocan en tareas más provechosas, con mayores beneficios para la organización.



## **BIBLIOGRAFÍA**

[1] Fiix Software, The link between maintenance and a more sustainable world, fiix Blog, 2021.

Recuperado de: <https://fiixsoftware.com/>

[2] Ellen MacArthur Foundation, el diagrama mariposa: visualizando la economía circular, 2021.

Recuperado de: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>

[3] Infraspak, Estadísticas y tendencias de mantenimiento 2025. Infraspak Blog, 2025.

Recuperado de: <https://blog.infraspak.com/>

[4] Mawinwin Software, Transformar el mantenimiento en una estrategia de sostenibilidad.

Recuperado de: <https://www.manwinwin.com/>

[5] Qualitymant Group, Optimizar la gestión de repuestos. Recuperado de: <https://qualitymant.com/>

[6] Ccitracc Corp, 6 maintenance planning steps to get you out of firefighting mode, 2025

Recuperado de: <https://ccitracc.com/>

[7] Decision Brain, blog, Inventory and Spare Parts Planning & Optimization in the Age of AI & IoT.

Recuperado de: <https://decisionbrain.com/>

[8] Worktrek Software, Top 10 Tips for Spare Parts Management, 2024.

Recuperado de: <https://worktrek.com/>

[9] Reliabilityweb, introducción a rcs –repuestos centrados en confiabilidad–, 2023.

Recuperado de: <https://reliabilityweb.com/>

[10] Study Smarter Platform, remanufactura, 2025.

Recuperado de: <https://www.studysmarter.es/>

[11] Umesal, Reparación de Componentes Mecanizados: Guía Completa para Maximizar la Vida Útil de tus Equipos, 2023.

Recuperado de: <https://umesal.com/>

[12] REMAN, La última forma de reciclaje, blog economía circular, 2024.

Recuperado de: <https://www.remanufacturing.fr/>

[13] Clickmaint Blog, Exploring the Benefits of Additive Manufacturing, Dayo, Sep 2024.

Recuperado de: <https://www.clickmaint.com/>

[14] Auto Crash, compra y mantenimientos racionales, Cesvi Colombia, Ed. 74, año 15.

Recuperado de: <https://www.revistaautocrash.com/>

[15] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene, Seguridad en mantenimiento, España, Ed. 70.

Recuperado de: <https://www.insst.es/>

Elkin Orjuela Cadena Ingeniero Electrónico, especialista en Gerencia de Mantenimiento y Magister en Asset Management, certificado como Gestor de Mantenimiento y Confiabilidad (CGMC-ACIEM) y Asset Management Professional Nivel Estratégico (AMPs- CIEx) con experiencia de más de 16 años en procesos de Gestión de Activos & Mantenimiento, aplicando metodologías de Confiabilidad en el marco del ciclo de vida de los activos para la toma de decisiones, desde la incorporación hasta la desincorporación en facilidades Oil & Gas y de biocombustibles. Actualmente desempeñando el cargo de Jefe de Gestión de Activos en OCENSA.

## **DATOS DEL AUTOR**

ELKIN ORJUELA CADENA  
JEFE DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE  
OCENSA – OLEODUCTO CENTRAL S.A.

### Teléfono

a. Residencia: +57 3152663590

b. Oficina: +57 6013250200

c. Celular: +57 3152663590

### Dirección

a. Residencia: Carrera 6 #2-90 Tibaná

b. Oficina: Carrera 11ª # 84-09 Bogotá

c. E. mail: [elkin.orjuela@ocensa.com.co](mailto:elkin.orjuela@ocensa.com.co)

d. Ciudad: Bogotá

e. País: Colombia