

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



OPTIMIZING RECYCLING EFFICIENCY IN THE PET PLASTIC SECTOR THROUGH BPM, QUALITY CONTROL SAMPLING AND CIRCULAR ECONOMY FRAMEWORK: A CASE STUDY IN PERU

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Artículo Científico

Maria Pia Garcia Davila

Código 20190813

Favianna Mariel Mendoza Gallo

Código 20193078

Asesor

Jose Antonio Taquia Gutierrez

Lima – Perú
Febrero de 2026

Propuesta
Carrera Ingeniería Industrial

Título

Optimizing Recycling Efficiency in the PET Plastic Sector through BPM, Quality Control Sampling and Circular Economy Framework: A Case Study in Peru

Autor(es)

María Pía García Dávila
20190813@aloe.ulima.edu.pe
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú
Favianna Mariel Mendoza Gallo
20193078@aloe.ulima.edu.pe
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú
Juan Carlos Quiroz Flores
jcquiroz@ulima.edu.pe
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

Resumen: El presente estudio aborda la problemática de la baja tasa de reciclaje en la industria del plástico PET en el Perú, la cual representa un desafío significativo en términos ambientales. Investigaciones previas han evidenciado la necesidad de incorporar herramientas de mejora continua y metodologías propias de la economía circular para optimizar los procesos de reciclaje en los sectores industriales. En este contexto, la investigación propone una solución innovadora mediante la integración del BPM y el muestreo estadístico para el control de calidad, herramientas que han sido escasamente aplicadas en este sector. El principal reto identificado fue el elevado porcentaje de residuos generados durante el proceso de regeneración, así como la baja calidad de las materias primas, factores que inciden directamente en la eficiencia del reciclaje. La implementación del muestreo estadístico permitió fortalecer el control de calidad de la materia prima, mientras que la aplicación de BPM contribuyó a optimizar la gestión de los procesos. Como resultado, se obtuvieron mejoras sustanciales: un incremento del 15.6 % en la tasa de reciclaje, una reducción del 22 % en la generación de residuos y una mejora del 12 % en la calidad de la materia prima. Estos resultados evidencian la eficacia de las herramientas propuestas para mejorar la eficiencia del reciclaje. Desde una perspectiva académica, la investigación aporta al desarrollo de metodologías de mejora de procesos; mientras que, desde un enfoque socioeconómico, promueve la sostenibilidad ambiental y la competitividad del sector. Asimismo, se alienta a continuar explorando mejoras sostenibles en los procesos industriales de diversas industrias.

Palabras Clave: Economía circular, BPM, muestreo de calidad, reciclaje, reciclaje de plástico PET, sostenibilidad

Abstract: The study addresses the low recycling rate in the PET plastic industry in Peru, which poses significant environmental challenges. Previous research highlighted the need for continuous improvement tools and circular economy methodologies to optimize recycling processes in industrial sectors. This research tackled the issue by integrating Business Process Management (BPM) and quality control sampling, tools rarely applied in this sector. The main challenge was the high waste percentage in the regeneration process and poor-quality raw materials, which directly impacted recycling efficiency. The study applied statistical sampling to improve raw material quality control and BPM to optimize process management, resulting in significant improvements. Key findings showed a 15.6% increase in recycling rate, a 22% reduction in waste generation, and a 12% improvement in raw material quality. These results demonstrate the effectiveness of the proposed tools in enhancing recycling efficiency. Academically, this research contributes to process improvement methodologies, while socioeconomically, it advances environmental sustainability and sector competitiveness. It encourages further exploration of sustainable process improvements across industries.

Keywords: Circular economy, BPM, Quality sampling, recycling, PET plastic recycling, sustainability.

Línea de investigación IDIC – ULIMA

Simulación para la mejora o diseño de procesos

Área y Sub-áreas de Investigación:

Operations Research & Analysis

Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS):

9: Industria, innovación e infraestructura

12: Producción y consumo responsable

14: Vida submarina

15: Vida de ecosistemas terrestres

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El caso de estudio enfrenta un gasto promedio anual de 1,996,581 USD por año debido al bajo porcentaje de reciclaje, ocasionados principalmente por alto porcentaje de mermas en proceso de regenerado.

En el 2023, la empresa mantuvo un ratio promedio de reciclaje de 12%. Un 3% menor por debajo del estándar exigido por la Ley N.º 30884 (MINAM, 2019).

Este bajo índice se debe a dos principales causas: la deficiente calidad de la materia prima (pacas y fletes de plástico) y ausencia de políticas e indicadores de control.

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta investigación fue aumentar el índice de reciclado a una empresa del sector de envases rígidos de plástico, para ello, se planteó reducir la cantidad de mermas generadas en el proceso de regeneración. Para poder mejorar el rendimiento de los recursos principales (pacas y fletes de plástico acopiado), se implementará un muestreo de control de calidad (Leite Bastos et al, 2019); y para establecer políticas y controles para mejorar la eficiencia y cumplimiento normativo en la producción y gestión de plástico se usará la herramienta BPM (Business Process Management) (Guananga et al, 2019).

JUSTIFICACIÓN

En el Perú, la industria del plástico representa un aporte significativo a la economía, generando millones de dólares al año. Sin embargo, el mal manejo de los residuos ha ocasionado que toneladas de desechos plásticos contaminen el medio ambiente, afectando la salud de las personas, animales y plantas. Ante esta problemática, las empresas han empezado a asumir un rol más responsable incorporando prácticas sostenibles que reduzcan su impacto ambiental. Una de las más importantes es el reciclaje de PET rígido, ya que permite transformar residuos en resina reciclada, la cual sirve como insumo para nuevos envases y botellas, configurando un modelo de economía circular. El presente proyecto busca incrementar la tasa de reciclaje al 15%, en línea con los estándares nacionales, y al mismo tiempo mejorar en un 3% la eficiencia del proceso de reciclaje mediante la aplicación de herramientas de mejora continua, metodologías de economía circular y muestreo estadístico de control de calidad. Estas herramientas contribuirán a optimizar la eficiencia del proceso, mejorar la calidad de la materia prima y reducir la generación de desperdicios en la producción de resina. Asimismo, se busca cumplir con estándares internacionales como la norma ISO 14000:2015, lo cual fortalece el compromiso empresarial con la sostenibilidad. De esta manera, la investigación es relevante porque, además de generar un impacto ambiental positivo, permitirá a la empresa mejorar su competitividad y eficiencia económica, al tiempo que se establece un modelo de gestión replicable para el sector de envases plásticos en el Perú.

HIPÓTESIS (Si aplica)

La aplicación de BPM y el muestreo de control de calidad basado en la Economía Circular incrementará el índice del reciclaje en una empresa del sector de plástico PET.

DISEÑO METODOLÓGICO

Tipo: Simulación

La presente investigación fue de tipo Simulación, debido a que se desarrolla a través de la elaboración y análisis del modelo en el software Arena. El enfoque está orientado a representar el proceso de reciclaje de PET rígido mediante una simulación, lo cual permite evaluar los escenarios y medir el impacto de las mejoras propuestas, sin intervenir directamente en la operación de la empresa.

Enfoque: Cuantitativo

El enfoque es cuantitativo debido a que se busca analizar y medir el comportamiento del proceso de reciclaje de plástico PET rígido mediante los datos numéricos obtenidos de la simulación

Alcance: Causal

El alcance es causal porque el objetivo es conocer el efecto que producen la implementación de las herramientas Lean en el proceso de reciclaje de la empresa en estudio.

Técnicas e instrumentos:

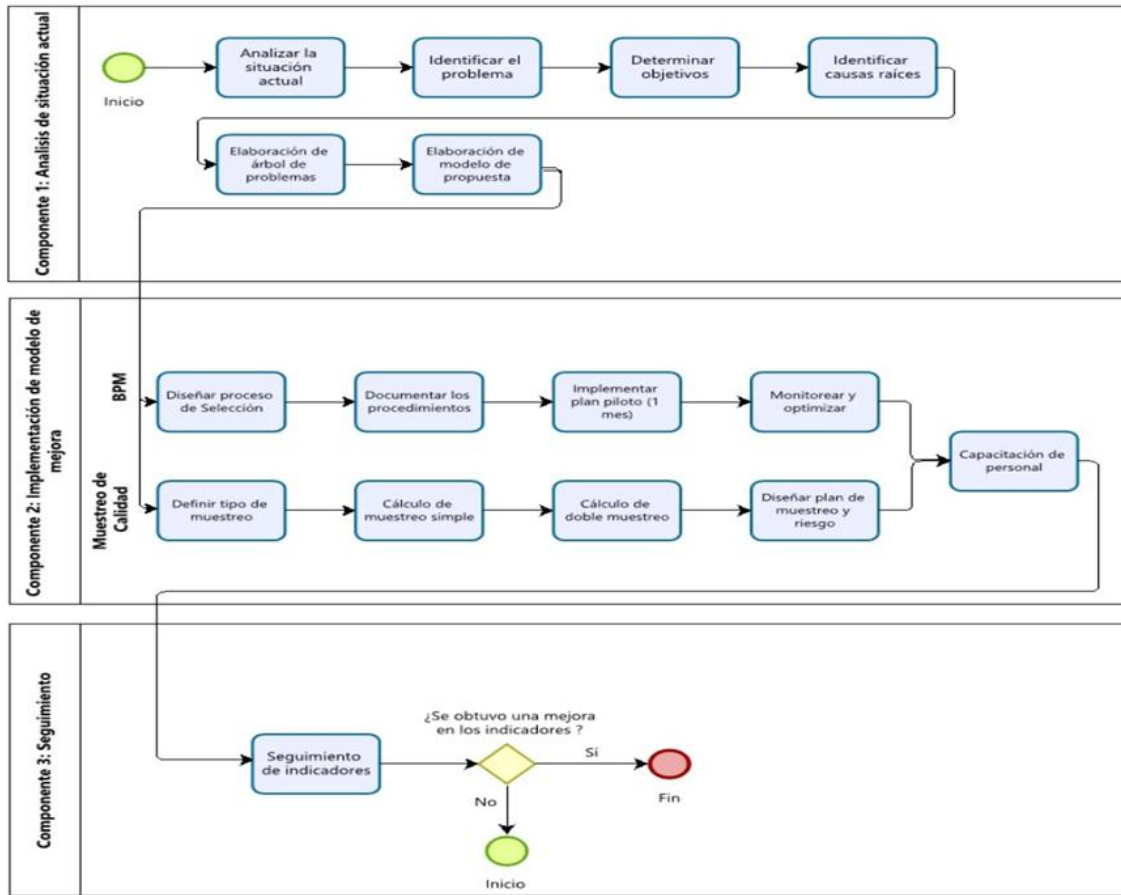
- BPM
- Muestreo de Calidad

Etapas del desarrollo de la investigación:

En la figura 1.1, detalla el desarrollo de nuestra investigación; la cual, comenzó con la recolección de información básica a través de entrevistas con jefes de producción, analista de planeamiento enfocado en el área de reciclado y gerentes de la empresa. Este acercamiento, nos permitió identificar el problema principal de nuestro estudio. Para poder analizar el problema, se desarrolló un árbol causa- raíz, el cual, nos permitió identificar las herramientas necesarias (BPM y muestreo de control de calidad) y en base a ello, elaborar un modelo de propuesta. Luego, para la implementar dichas herramientas, se dividieron en dos procesos: el primero, buscaba diseñar un proceso de “selección” de materia prima; para ello, se desarrolló un diagrama tortuga en donde identificaba las entradas y salidas de la actividad, así como, los controles y recursos necesarios; además, se documentó el procesamiento para definir cuáles serán los pasos a seguir. El segundo, definió como tipo de muestreo el de aceptación por variables y atributo; asimismo, se realizaron los cálculos con las fórmulas de Poisson para determinar las probabilidades de rechazo y se diseñó el plan de muestreo y riesgo. Para realizar las pruebas piloto, se desarrolló un estudio de tiempo de los procesos actuales de la empresa y se ingresó esa información para la simulación con el software Arena, dado que se presentaba la limitación de poder aplicarlo en la misma empresa. Con esa herramienta, pudimos calcular los indicadores que validaron nuestra propuesta. Finalmente, con la estadística del simulador se hizo la comparación de escenarios que corroboraron el cumplimiento del objetivo.

Figura 1.1

Flujograma del método



NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

María Pía García

Agradezco a Dios, por darme la fuerza necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida. A mi familia, y principalmente a mi madre, Melissa, por ser mi ejemplo y por hacer todo lo posible para que yo pueda convertirme en profesional. A mis abuelos, Judith y Santiago, por impulsarme a seguir esta hermosa carrera y apoyarme en el cumplimiento de mis objetivos.

Quiero expresar también mi agradecimiento a nuestro asesor, Juan Carlos Quiroz, por acompañarnos en este proceso y brindarnos su guía académica. Finalmente, a mis amigas y amigos, por cada consejo y cada momento de ánimo que hicieron más llevadero este camino.

Favianna Mendoza

Agradezco a Dios por darme fuerza y sabiduría para superar los obstáculos y seguir adelante. A mi familia, por ser mi mayor apoyo a lo largo de este proceso: a mi mamá, por su fortaleza y por recordarme siempre que no debía rendirme; a mi papá, por impulsarme a dar lo mejor de mí; a mi hermana, por encontrar la manera de animarme; y a Luna, por haberme acompañado de todas las formas posibles, brindándome compañía y cariño en los momentos más difíciles.

Asimismo, agradecer a nuestro asesor por brindarnos las herramientas necesarias para este proyecto.

REFERENCIAS

- Ahn, H., & Chang, T. (2019). A Similarity-Based hierarchical clustering method for manufacturing process models. *Sustainability*, 11(9), 2560. <https://doi.org/10.3390/su11092560>
- Alvarez, D., Castañeda, D., Rosero A., & Yanchapaxi, M. (2022) Sampling plans by attributes applied to the industrial field: a literature review. *Revista electrónica Tambara*, 17(97), 1411-1423. http://tambara.org/wpcontent/uploads/2022/03/3.PlanMuestro_Alvarez_et_al.pdf
- Avilés-Castillo, F., Álvarez-Duque, Bonilla-Villacís, J. & Villacís-Guerrero, J., W. (2024). Acceptance Sampling of Vegetables and Legumes in Units Based on the Military Standard (MIL-STD 105E). In: Montenegro, C., Rocha, Á., Cueva Lovelle, J.M. (eds) *Management, Tourism and Smart Technologies. ICMTT 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 774. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43733-5_2
- Balza, M. Y. R., Torrealba, W. S. M., & Oliveros, A. J. V. (2019). Sampling for quality control in the manufacturing process of metal food containers. *Engineering, Research and Technology*, 20(2), 1–9. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n2.017>
- Bastos, F. Z. L., Scarpin, C. T., & Pécora, J. E., Junior. (2019b). Picking planning and quality control analysis using discrete simulation: case in a food industry. *Dyna*, 86(208), 271–280. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.76105>
- Carrillo-Anchundia, B. J., Latorre Castro, G. B., Zambrano-Sánchez, C. C. (2022) Polymeric materials and environmental impact: a review. *Pol. Con.* (Edición núm. 71) Vol. 7, No 6. 10.23857/pc.v7i6.4092
- Chandler, J., Rosenzweig, C., Moss, A. J., Robinson, J., Litman, L (2019) Online panels in social science research: Expanding sampling methods beyond Mechanical Turk <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01273-7>

- Chetverikov, S., Arzamasov, K., Andreichenko, A., Novik, V., Bobrovskaya, T., & Vladzimirsky, A. (2023). Approaches to sampling for quality control of artificial intelligence in biomedical research. *Sovremennye Tehnologii V Medicine*, 15(2), 19. [10.17691/stm2023.15.2.02](https://doi.org/10.17691/stm2023.15.2.02)
- Crippa, M., De Wilde, B., Koopmans, R., Leyssens, J., Muncke, J., Ritschkoff A-C., Van Doorselaer, K., Velis, C. & Wagner, M. A circular economy for plastics – Insights from research and innovation to inform policy and funding decisions, 2019 (M. De Smet & M. Linder, Eds.). European Commission, Brussels, Belgium.
- Da Silva, T. H. H., & Sehnem, S. (2022). The circular economy and Industry 4.0: synergies and challenges. *REGE Revista De Gestão*, 29(3), 300–313. <https://doi.org/10.1108/rege-07-2021-0121>
- De La Cruz, L. & Marrero Delgado, F. (2021) Evolution of internal control towards management integrated with management control. *Management Studies. International Journal of Administration*, 211-230 <https://doi.org/10.32719/25506641.2021.10.10>
- Elgarahy, A. M., Priya, A., Mostafa, H. Y., Zaki, E., Elsaheed, S., Muruganandam, M., & Elwakeel, K. Z. (2023). Toward a circular economy: Investigating the effectiveness of different plastic waste management strategies: A comprehensive review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5), 110993. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110993>
- González, C. A., chaparro, I. M., & Ramírez, J. (2018). Importance of simulation in production processes. *Quality and innovation in production processes*, 25
- Guananga, G. P. T., León, J. C. R., Falconi, A. F. I., Salazar, Á. G. C., & Sanipatin, E. L. R. (2019). Process management is an efficient control system in companies. *Digital Science*, 3(2.6), 495–514. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.600>
- INEI (2022). <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/industria-plastico-peru.pdf>
- Izurieta, C., Bueñaño, S., Rivera, M. (2024). Industrial design and simulation as a tool to improve processes. *Pol. Con. (Edición núm. 92) Vol. 9, No 3*, 695-706. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i3.6674>
- Maldonado-Guzmán, G., Garza-Reyes, J.A., Pinzón-Castro, Y. (2020). Eco-innovation and the circular economy in the automotive industry. *Benchmarking: An International Journal*, 621-635. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2020-0317>
- Ministerio del Ambiente – MINAM (2019) Decreto Supremo No. 006-2019-MINAM.- Aprueban el Reglamento de la Ley N° 30884, Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-reglamento-ley-ndeg-30884-ley-que-regula-plastico-un-solo-uso>
- Ministerio del Ambiente– MINAM (2021). <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/498143-minam-labor-de-recicladores-es-fundamental-en-la-valorizacion-de-los-residuos-solidos>
- Ministerio del Ambiente – MINAM (2022). <https://elperuano.pe/noticia/195908-la-economia-circular-en-el-peru-actual>
- Ministerio de Producción – PRODUCE (2018). <https://www.gob.pe/institucion/produce/noticias/18943-ministro-de-la-produccion-la-economia-circular-esta-dentro-de-nuestros-temas-prioritarios-de-trabajo>
- Novak, R., & Janeš, A. (2018). Business process orientation in the Slovenian power supply. *Business Process Management Journal*, 25(4), 780–798. <https://doi.org/10.1108/bpmj-05-2017-0130>
- Ongena, G., & Ravesteyn, P. (2019). Business process management maturity and performance. *Business Process Management Journal*, 26(1), 132–149. <https://doi.org/10.1108/bpmj-08-2018-0224>
- Rivera-Alvino, R., Vega-Huerta, H., Guzman-Monteza, Y., Bulnes, M. E. P., Cancho-Rodriguez, E., Pantoja-Collantes, J., & De-La-Cruz-VDV, P. (2023). Modeling, design and simulation using BPM to reduce the time of the manufacturing process of vehicle safety accessories. *Ibérica Magazine of Information Systems and Technologies*, (E59), 310-325
- Robaina, M., Murillo, K., Rocha, E., & Villar, J. (2020). Circular economy in plastic waste - Efficiency analysis of European countries. *Science of the Total Environment*, 730, 139038. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139038>
- Romero Vega, L. E., Valdés Luna, L. C., Pastor de Moya, J. G., Herrera Acosta, R. J. (2018). Statistical control for monitoring the process of cutting soap bars. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(2), 455–468. [10.14482/inde.36.2.10514](https://doi.org/10.14482/inde.36.2.10514)

- Sehnm, S., Vazquez-Brust, D., Pereira, S. C. F., & Campos, L. M. (2019). Circular economy: benefits, impacts and overlapping. *Supply Chain Management*, 24(6), 784–804. <https://doi.org/10.1108/scm-06-2018-0213>
- Torres Guananga, G. P., Rodríguez Leon, J. C., Inca Falconi, A. F., Castelo Salazar, Ángel G., & Ríos Sanipatin, E. L. (2019). La gestión por procesos un sistema de control eficiente en las empresas. *Ciencia Digital*, 3(2.6), 495-514. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.600>
- Ubaid, A. M., & Dweiri, F. T. (2020). Business process management (BPM): terminologies and methodologies unified. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11(6), 1046–1064. <https://doi.org/10.1007/s13198-020-00959-y>
- Yousfi, A., Bauer, C., Saidi, R., & Dey, A. K. (2016). UBPMN: A BPMN extension for modeling ubiquitous business processes. *Information and Software Technology*, 74, 55–68. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2016.02.002>
- Zani, C. M., Borges, M. M., Severo, A. J. B., Garcia, E. R., & Müller, C. J. (2021c). Business process management (bpm) application through strategy, indicators and operations model (meio): a health service company case. *Independent Journal of Management & Production*, 12(2), 590–612. <https://doi.org/10.14807/ijmp.v12i2.1331>
- Zelak Leite Bastos, F., Tadeu Scarpin, C., & Pécora, J. E. (2019). Picking planning and quality control analysis using discrete simulation: case in a food industry. *Dyna*, 86(208), 271-280. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.76105>
- Zuhaira, B., & Ahmad, N. (2020). Business process modeling, implementation, analysis, and management: the case of business process management tools. *Business Process Management Journal*, 27(1), 145–183. <https://doi.org/10.1108/bpmj-06-2018-0168>

ANEXOS.

Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Optimizing Recycling Efficiency in the PET Plastic Sector Through BPM, Quality Control Sampling and Circular Economy Framework: A Case Study in Peru
- **Autores:** María Pía García Dávila, Favianna Mariel Mendoza Gallo
- **Co autor(es):** Juan Carlos Quiroz Flores

Presentación en congreso

- **Nombre del congreso:** 2025 The 12th International Conference on Industrial Engineering and Applications
- **Organizador:** ICIEA-EU
- **Sede:** Munich, Alemania
- **Año:** 2025
- **Pp:** 8 hojas
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** https://aipcp.peerx-press.org/ms_files_archive/aipcp/2025/10/22/002017059/00/2017059_0_art_file_25701360_nh3q3x.pdf




7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 19 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de Integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.