

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Vicerrectoría de Investigación y Extensión
Dirección de Proyectos**

Escuela de Química

Informe final de proyecto de investigación

I etapa

Regional RLA1020, Promoción de la tecnología de la radiación en polímeros naturales y sintéticos para desarrollar nuevos productos, con hincapié en la recuperación de residuos.

Dra. María Verónica Vogt (Coordinadora General)

Dr. Ricardo Starbird Pérez

Dra. Aura Ledezma Espinoza

Dr. José Luis León

MSc. Karla Ramirez Sanchez

MSc. Oscar Chaverri Quirós

Junio 2024

Tabla de Contenido

1.	Código y Título del proyecto.....	3
2.	Autores y afiliaciones.....	3
3.	Resumen	4
4.	Palabras clave	5
5.	Introducción	5
6.	Marco Teórico	6
7.	Metodología	7
8.	Resultados	8
9.	Discusión y conclusiones	13
10.	Recomendaciones	14
11.	Agradecimientos (opcional)	14
12.	Referencias.....	14
13.	Apéndices (opcional).....	16
1.	Datos generales.....	17
1.	Código del Proyecto 5402-1460-8801.....	17
2.	Nombre del proyecto Regional RLA1020 Promoción de la tecnología de la radiación en polímeros naturales y sintéticos para desarrollar nuevos productos, con hincapié en la recuperación de residuos.....	17
3.	Escuela responsable: Química (ITCR)	17
4.	Otras escuelas participantes: Materiales (ITCR)	17
5.	Instituciones participantes externas al ITCR: Universidad Nacional (CR), Investigadores de Argentina, Brasil, México, Panamá, Uruguay, Ecuador, Cuba, Chile, Perú y Venezuela.	17
6.	Investigador coordinador María Verónica Vogt (coordinadora general), Ricardo Starbird (coordinador país)	17
7.	Investigadores colaboradores en Costa Rica	17
8.	Período de ejecución: Primera etapa 01. enero 2022 al 31. diciembre 2023	18

2.	Cumplimiento de objetivos.....	18
3.	Cumplimiento del plan de difusión	19
6.	Limitaciones y problemas encontrados	20
7.	Observaciones generales y recomendaciones	21

1. Código y Título del proyecto

5402-1460-8801, Regional RLA1020 “Promoción de la tecnología de la radiación en polímeros naturales y sintéticos para desarrollar nuevos productos, con hincapié en la recuperación de residuos.

2. Autores y afiliaciones

Coordinación General:

Nombre	Grado académico	Afiliación
María Verónica Vogt (coordinadora)	Doctorado	Departamento de Procesos de Radiación en la Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

Participación TEC

Nombre	Grado académico	Afiliación TEC
Ricardo Starbird Pérez (coordinador país)	Doctorado	Escuela de Química
Aura Ledezma Espinoza	Doctorado	Escuela de Química
José Luis León	Doctorado	Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

Karla Ramirez Sanchez	Maestria	Escuela de Química
Oscar Chaverri Quirós	Maestria	Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

Participación UNA

Nombre	Grado académico	Afiliación UNA
Oscar Rojas Carillo	Doctorado	Escuela de Química
Marianelly Esquivel	Maestria	Escuela de Química
Giovanni Saenz	Doctorado	Escuela de Física
Jose Saavedra	Doctorado	Escuela de Física
David Chacon Obando	Doctorado	Escuela de Física
Luis Badilla Oviedo	Licenciatura	Escuela de Física

3. Resumen

Este informe resume los resultados del proyecto Regional RLA1020, que procura proveer repuesta para los procesos de producción e industrialización de bienes a gran escala genera residuos compuestos por (1) polímeros naturales procedentes de la agricultura, la pesca o la ganadería, y (2) polímeros sintéticos que se desechan principalmente como residuos tras su uso, tardando mucho tiempo en degradarse y generando microplásticos. Todos estos residuos de origen natural y/o sintético acaban en el medio ambiente. Una alternativa para reducir su impacto ambiental es reciclar y/o convertir estos residuos poliméricos en nuevos productos de valor agregado, en línea con una política de desarrollo económico sostenible y el modelo de economía circular. Las tecnologías de radiación (rayos gamma, rayos X y haces de electrones) son cruciales para reciclar residuos poliméricos mediante injertos inducidos por radiación, que aceleran la degradación al modificar algunas propiedades químicas, mecánicas o superficiales para obtener materias primas o aditivos para biopolímeros; hidrogeles; nanopartículas; materiales de construcción; muebles; filtros; recuperación de termoplásticos; tejidos; embalaje; y materiales absorbentes, entre otros. Este proyecto tiene como objetivo demostrar la viabilidad de la tecnología de la radiación para convertir diferentes desechos poliméricos en productos con valor agregado. En este sentido, se capacitó al personal técnico en métodos para la obtención y caracterización de materiales avanzados con valor agregado a partir de desechos poliméricos naturales y derivados del petróleo, y en el escalamiento de la tecnología desde el laboratorio a la escala industrial. Se realizaron estudios de factibilidad técnica y económica y planes de comunicación del polímero seleccionado por el país. A escala de

demostración, se diseñará una instalación de reciclaje de irradiaciones y se desarrollarán y validarán sistemas de gestión integrada en al menos un país. Este *know-how* se transfirió a los países participantes para fomentar la investigación y el desarrollo de productos de valor agregado a partir de polímeros de desecho a nivel piloto con el fin de ayudar a los tomadores de decisiones y a los inversionistas públicos y privados de la región, quienes eventualmente podrían ampliar la operación. de la planta de reciclaje a nivel demostrativo o comercial.

Específicamente, a nivel país nuestro grupo trabajó en la modificación química de polímeros por medio de tecnologías de radiación ionizante. La modificación de biopolímeros a partir de residuos biológicos, como fotocatalizadores en el tratamiento de aguas, proporciona una cooperación potencial con empresas específicas en el campo. La celulosa es el compuesto orgánico, biopolímero y polisacárido más abundante en la tierra. Además, es un material biodegradable y sostenible, insoluble y barato. La radiación ionizante conduce a la degradación del esqueleto de celulosa, reduciendo su tamaño provocando una gran superficie, por lo que una aplicación potencial puede ser la fabricación de compuestos de celulosa como potencial fotocatalizador en el tratamiento de aguas.

4. Palabras clave

Radiaciones ionizantes, polímeros naturales, sintéticos, aprovechamiento, residuos.

5. Introducción

El objetivo de esta sección es la de proveer suficiente experiencia previa sobre el tema, de manera que el lector pueda comprender y evaluar los resultados del presente estudio, sin necesidad de consultar otras investigaciones anteriores. Sobre todo, esta sección debe establecer claramente el problema o el por qué de la investigación. Debe hacerse de manera clara y razonable para que el lector se interese en conocer lo que los autores ofrecen.

En este apartado se debe indicar la importancia del problema se debe hacer una relación entre el abordaje hecho para la resolución del problema y éste.

Se recomienda seguir este orden:

- Presentar la naturaleza y alcance del problema investigado.
- Mencionar el método de investigación y las razones por las cuales lo seleccionó.
- Mencionar los objetivos del trabajo

La agricultura, la ganadería y la pesca son sectores importantes para la economía de los países de América Latina y el Caribe (LAC). La región es un importante exportador de productos agrícolas, como soja, maíz, azúcar y café. Además, la producción ganadera ha crecido sustancialmente debido

a la expansión de los sectores avícola, porcino y ganadero y a la innovación tecnológica [1]. La pesca y la acuicultura se destinan principalmente al consumo regional, pero también a la exportación [2]. Sin embargo, la producción vegetal y animal genera una gran cantidad de residuos, como biomasa de caña de azúcar o restos de madera. Los subproductos de proteínas valiosas del ganado, como el colágeno o la gelatina, y los desechos de pescado contienen un alto porcentaje de proteínas y carbohidratos en escamas, cartílagos y exoesqueletos de crustáceos [1,3-5]. Por otro lado, los polímeros a base de aceite se desechan como residuos después de su uso. Se van acumulando progresivamente en el medio ambiente, y debido a su alta resistencia tardan mucho en degradarse, generando microplásticos que acaban en el medio marino. En 2017, se produjeron en todo el mundo 8.300 millones de toneladas métricas de polímeros sintéticos, de los cuales el 4% de la producción total se produjo en LAC. Para reducir la generación de residuos plásticos se están tomando medidas políticas y de intervención en LAC. Algunos países informaron sobre políticas nacionales vigentes sobre bolsas de plástico mediante prohibiciones y gravámenes [6,7]. Además, las cooperativas de recicladores contribuyen a la gestión de residuos sólidos, pero la tasa de reciclaje aún es baja (4,5%) [6,8]. Una estrategia común para la disposición final de residuos es la incineración, pero es altamente contaminante y causa efectos negativos sobre el medio ambiente. La economía circular promueve la reducción del impacto ambiental de los residuos a través de un desarrollo más sostenible donde se consideran aspectos económicos, ambientales, tecnológicos y sociales en la producción [10].

El objetivo general del proyecto es “Contribuir a la reducción del impacto ambiental de los residuos de polímeros naturales y sintéticos utilizando técnicas de irradiación” con los siguientes resultados: Equipo de proyecto establecido y proyecto implementado dentro del alcance, tiempo y presupuesto, Personal capacitado en métodos de reducción de residuos de polímeros con radiación, estudio de viabilidad técnica y económica de un producto de valor añadido desarrollado y potenciar la comunicación de alternativas para la reducción de residuos de polímeros con tecnología de radiación.

6. Marco Teórico

Indicar las implicaciones teóricas del estudio y cómo éste se relaciona con otros trabajos que se han realizado en la misma área de estudio. Se debe presentar el estado del arte en el tema a desarrollar.

Por ello, disponer de tratamientos alternativos para reducir su impacto ambiental es un objetivo principal. Una alternativa interesante es transformar este problema en oportunidades y convertir los desechos en productos con valor agregado. Uno de los desafíos para el futuro es determinar qué lugar pueden ocupar los residuos en LAC [1]. El reciclaje tiene varias ventajas: reducción del consumo de energía, emisiones de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre; las cantidades de residuos sólidos que van a los vertederos; y conservación de fósiles no renovables [9]. Los desechos de plantas y animales pueden utilizarse para diferentes aplicaciones: celulosa para aditivos alimentarios; fabricación de papel; productos farmacéuticos [3]; colágeno y gelatina en la industria alimentaria [4]; y quitina para polímeros biodegradables, agricultura y materiales porosos [5]. Los desechos de polímeros sintéticos, como los termoplásticos, se pueden mezclar con

polímeros vírgenes y reutilizarse [10]. Hay muchos informes que demuestran el potencial de las tecnologías de radiación para el desarrollo de nuevos productos utilizando desechos: El efecto de agregar tereftalato de polietileno (PET) de las botellas; policarbonato de monitores y pantallas de computadora; o el caucho de desecho de los neumáticos de los automóviles; y se estudió la radiación ionizante sobre las propiedades mecánicas de morteros de poliéster. Los resultados demostraron mejoras en las propiedades mecánicas de los morteros irradiados con PET de hasta un 46%. Puede ser factible su uso para piezas que requieran alta resistencia mecánica [11]. Se estudiaron fibras de bagazo de caña de azúcar (BCA) como relleno de refuerzo para polietileno de alta densidad reciclado con radiación. Los resultados mostraron que las combinaciones entre la modificación química de las fibras y la irradiación de compuestos poliméricos eran más efectivas en cuanto a compatibilidad y proporcionaban las mejores propiedades mecánicas, la menor absorción de agua y la mayor estabilidad térmica [12]. Además, se analizó el efecto de la radiación en la recuperación de azúcares reductores totales a partir de BCA deslignificados. Los resultados mostraron que la irradiación triplica el rendimiento de azúcares reductores totales debido a la rotura de las paredes celulares celulósicas [13]. El problema para abordar en este proyecto se incluyó en el Plan Estratégico Regional (PER) para 2016-2021 bajo las necesidades T2 y T5 [14]; y en el Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL) Agenda 2030 bajo necesidad T4 y T8 [15]. Reconociendo los beneficios potenciales que la tecnología de la radiación puede ofrecer para el procesamiento de polímeros, la OIEA ha implementado varios proyectos, actividades y documentos, por ejemplo, CRPF23036 [16]; ARG1029 [17]; RLA1013 [18]; CRPF22046 [19]. Se espera que este proyecto se enriquezca con eventos que tuvieron lugar en el pasado, retroalimente las actividades en curso (como la Tecnología Nuclear para el Control de la Contaminación Plástica (NUTEC) Plásticos) y sirva como base para la participación en actividades futuras.

7. Metodología

En este apartado se debe detallar la manera en que se efectuó el estudio. En esta sección se describen todos los materiales y metodologías utilizadas, incluyendo el diseño experimental. Se debe incluir:

Para lograr el resultado, se diseñaron una serie de pasos para lograr los productos propuestos. Se incluyen reuniones de discusión y análisis, RTC, desarrollo de estudios de factibilidad técnico-económica, HBA (home based task) y eventos de comunicación nacional para difundir avances y resultados. Los hitos del Proyecto son los acuerdos con los usuarios finales que son el paso inicial de la transferencia de tecnología y productos, las actividades de capacitación, que permitirán formar investigadores no sólo en sus capacidades técnicas relacionadas con la aplicación de la tecnología de radiación, sino además brindarles conocimientos sobre metodologías de escalamiento tecnológico, transferencia de tecnología y estudio de factibilidad técnico-económica y estrategias de comunicación. Otro hito lo representan las actividades de comunicación a nivel nacional que difundirán los resultados del proyecto entre los beneficiarios, posibles usuarios finales y el público. El papel de las instituciones ejecutoras es facilitar la implementación de las actividades para lograr los productos del proyecto y garantizar la sostenibilidad de este. Otros actores importantes son los

usuarios finales, cuyo papel es fundamental en el desarrollo del proyecto y es tomar los productos desarrollados y evaluar su transferencia al sector productivo. Las actividades para lograr los primeros resultados de “Equipo de proyecto establecido y proyecto implementado dentro del alcance, tiempo y presupuesto” son establecer mecanismos de cooperación para la implementación eficiente y efectiva del proyecto; monitorear el progreso del proyecto e informar sobre sus logros y elaborar estrategias y materiales de comunicación y divulgación (artículos web, videos, redes sociales). Para el segundo producto: “Personal capacitado en métodos de reducción de residuos de polímeros con radiación”, las actividades incluidas son capacitar en modificación de residuos de polímeros naturales con radiación para productos y avanzar en el desarrollo y caracterización de materiales; formar en modificación de residuos de polímeros sintéticos con radiación para productos y avanzar en el desarrollo y caracterización de materiales (cada EM participante decidirá si participa en el primer y/o segundo curso según sus intereses y el tipo de polímero con el que trabaja), y capacitar en el escalamiento de la tecnología desde la escala de laboratorio hasta la escala de planta piloto. Para el tercer producto “Estudio de viabilidad técnico-económica de implementación desarrollado”, las actividades a realizar incluyen: capacitar en transferencia de tecnología y viabilidad técnico-económica y desarrollar estudios de viabilidad técnico-económica aplicados al producto seleccionado. Para el cuarto producto “Comunicación de alternativas para la reducción de residuos de polímeros con tecnología de radiación potenciada”, las actividades a realizar son capacitar en comunicación estratégica y realizar eventos a nivel nacional para la difusión de los resultados del proyecto. Los roles y responsabilidades generales de la gestión son cumplir con lo establecido en el Proyecto, incluyendo el diseño de las actividades, los PPAR y PAR y estar atentos a cualquier otra solicitud o comunicación que provenga de la PMO o los TO.

8. Resultados

Esta sección contiene la recopilación de los datos recolectados y su tratamiento estadístico o cualitativo. Se debe mencionar todos los resultados relevantes. Se debe excluir aspectos muy puntuales o datos en bruto, estos pueden incluirse en los anexos.

Como regla general se recomienda presentar cuadros o figuras cuando se presenten datos repetitivos. Si necesita presentar solo unas pocas determinaciones, hágalo en forma de texto.

Una regla importante en los cuadros es que el título se coloca en la parte superior del mismo; en la Figura, el título se coloca en la parte inferior. Recuerde que el título de éstos debe ser conciso y de una sola oración. Otra regla a considerar es que, tanto el cuadro como la figura deben contener todos los elementos que los expliquen por sí mismos, es decir, que no se requiera ir al texto para comprenderlos.

Los siguientes resultados responden al objetivo general del proyecto es “Contribuir a la reducción del impacto ambiental de los residuos de polímeros naturales y sintéticos utilizando técnicas de irradiación”. Por lo que son una transcripción del informe de primera etapa del proyecto (2022-2024) de la autoría de la Dra. María Verónica Vogt. Los responden al planteamiento original del

proyecto de: establecer un equipo de proyecto dentro del alcance, tiempo y presupuesto, entrenar a personal en métodos de reducción de residuos de polímeros con radiación, realizar un estudio de viabilidad técnica y económica de un producto de valor añadido desarrollado y potenciar la comunicación de alternativas para la reducción de residuos de polímeros con tecnología de radiación.

1. Equipo de proyecto establecido y proyecto implementado dentro del alcance, tiempo y presupuesto.

Se sobrepasó la cantidad de países establecidos en la propuesta de al menos seis Estados miembros en el proyecto, pues desde el comienzo del proyecto, los 11 Estados miembros trabajaron activamente juntos en el proyecto; en 2023, el equipo del proyecto continuó estableciéndose e implementándose dentro del alcance, el tiempo y el presupuesto.

Durante el proyecto se realizaron reuniones virtuales con los coordinadores de proyecto (CP) por país. A pesar de que en 2023 no hubo reuniones de coordinación, los CP se mantuvieron conectados a través de un grupo de WhatsApp “RLA 1020”, correo electrónico o se reunieron en algunos cursos de capacitación. De esta forma se coordinaron consultas, intercambio de información, colaboraciones o actividades. Se está organizando una reunión de coordinación a medio plazo para el segundo y tercer trimestre de 2024. Por lo que se cumple con la meta de al menos 4 reuniones de coordinación del proyecto (virtuales y/o presenciales).

Los participantes colaboraron irradiando y analizando muestras. Por ejemplo, el Dr. Leonardo da Silva (IPEN/CNEN, Brasil) irradió polímeros de participantes de Argentina con haces de electrones. El Dr. Roberto Benavidez (CIQA, México) proporcionó a los participantes de Argentina un aditivo polimérico. La Dra. Verónica Vogt (CNEA, Argentina) irradiará tejidos sintéticos con una fuente de radiación Gamma a pedido de la Dra. Denise Delvalle-Borrero (Panamá).

Los EM están trabajando en proyectos de reciclaje de polímeros naturales y sintéticos. Algunos países no contaron con suficiente personal colaborando en el proyecto, las actividades experimentales programadas avanzaron a un ritmo muy lento con el consiguiente retraso en el desarrollo del proyecto, y cuestiones económicas afectaron el progreso.

Chile: investigan el efecto de la radiación en mezclas de polipropileno con residuos de la industria alimentaria (cáscaras de nueces). Las empresas de embalaje que necesitan adquirir o desarrollar nuevas tecnologías para valorizar los residuos de polipropileno post-consumo han comenzado a mostrar el uso de energías ionizantes para mejorar el rendimiento.

Ecuador: el proyecto inicial fue modificado hacia algo más atractivo para la industria por sugerencia de expertos del OIEA. El nuevo proyecto busca aprovechar plumas de pollo (residuos agroindustriales) y utilizarlas para obtener queratina para ser utilizada como alimento balanceado para animales.

Perú: El proyecto para la obtención de compuestos poliméricos a partir de residuos de madera y polietileno se encuentra en desarrollo y ha experimentado importantes avances a pesar de enfrentar limitaciones presupuestarias. Se ha avanzado en el tratamiento y procesamiento de insumos, a pesar

de retrasos en el cronograma debido a operaciones esenciales, como molienda, tamizado, secado y procesamiento en el prototipo de extrusora monotornillo.

Uruguay: se ha conformado el grupo de trabajo local sobre polímeros con integración público-privada con el Centro Tecnológico del Plástico, la Asociación Uruguaya de Industrias del Plástico, el Laboratorio Tecnológico del Uruguay, la Dirección Nacional de Tecnología Nuclear y el sector privado.

Venezuela: Extracción de colágeno de escamas, huesos y piel de pescado.

Los proyectos de Argentina, Brasil y México se describen en el resultado 3.

En reiteradas oportunidades, la Dra. Verónica Vogt de la DTM sugirió a las CP y participantes del RTC presentar propuestas de financiamiento para llevar a cabo los proyectos, incluidos los Proyectos CRP de la OIEA F23036 y F22081.

Entre las actividades de comunicación, en 2023 Argentina tomó nota del curso regional de polímeros sintéticos que fue compartido en el sitio web de la CNEA, arcal-lac.org y enula.org (<https://www.argentina.gob.ar/noticias/investigadores-de-la-region-se-capacitan-en-la-aplicacion-de-las-radiaciones-para-el>). Asimismo, esta nota fue replicada por otros sitios web y redes sociales institucionales y personales como LinkedIn. De igual manera en Venezuela el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas difundió esta actividad (<https://ivic.gob.ve/venezuela-participa-en-curso-sobre-modificacion-de-polimeros-sinteticos-residuales-en-argentina/>). Costa Rica y Perú difundieron los avances del proyecto en conferencias, congresos y boletines.

Cuba: obtención de hidrogeles de súper almacenamiento a partir de carboximetilcelulosa mediante técnicas de irradiación.

Costa Rica: se ejecuta el proyecto nacional FEES “Desarrollo de Materiales Estructurados a partir de biomasa residual del sector agroalimentario para Aplicaciones Ambientales”, que incluye actividades relacionadas con el efecto de las radiaciones ionizantes sobre polímeros naturales.

Título	Tipo	Indexación	Detalles
Gamma irradiated cellulose/poly(3,4-ethylenedioxythiophene) composite as photocatalyst for the removal of emerging contaminants from water	e-Poster	No aplica	29 th WiN Global Annual hybrid conference, May 2022, Tokyo, Japan.
Additive effect on polysaccharide-based cryogels as potential scaffolds for drug delivery applications	Oral presentation	No aplica	2 nd International Conference on Aerogels for Biomedical and Environmental Applications AEROGELS July 2022, Athens, Greece
Modified cellulose/poly 3,4-ethylenedioxythiophene) composite as photocatalyst for	Artículo científico	Scopus	Environmental Technology & Innovation

the removal of sulindac and carbamazepine from water.			
POTENTIAL APPLICATION OF GAMMA IRRADIATED STARCH PARTICLES AS CARRIER FOR NASAL VACCINE DEVELOPMENT AGAINST NEOSPORA CANINUM	Poster	No aplica	SIMPOSIO EN CIENCIA DE MATERIALES AVANZADOS Y NANOTECNOLOGÍA (SCIMAN), diciembre 2023, San Pedro, Costa Rica.

2. Personal capacitado en métodos de reducción de residuos de polímeros con radiación.

El proyecto se llevó a cabo de manera oportuna en el período reportado.

Durante el año 2022 se realizaron los cursos de capacitación regional sobre escalado de la tecnología de radiación", Sao Paulo, 21-25 de noviembre de 2022, EVT2205114. Coordina: Dr. Wilson Calvo (Brasil), que atendieron el Dr. Ricardo Starbird (TEC) y Dr. Giovanni Sáenz (UNA). Además del Curso Regional de Capacitación en Modificación de Residuos de Polímeros Naturales con Radiaciones Ionizantes". 5-7 de diciembre virtual; 12-16 diciembre, Buenos Aires, Argentina. (Se modificó la fecha para el mes de diciembre para llegar con los tiempos administrativos y por cuestiones de agenda). Coordina: Verónica Vogt. Que atienden de manera remota la Ing. Karla Ramírez, el Dr. Ricardo Starbird, el Dr. Oscar Rojas, el Dr. David Chacon (UNA) y la Dra. Aura Ledezma Espinoza. La etapa presencial la atiende la reunión presencial la Dra. Aura Ledezma Espinoza (ITCR).

Además, En la reunión en Argentina (realizada) versión virtual se presentó por parte de la coordinación la charla: "Modification of Cellulose to Obtain a Photocatalyst Composite" que resume el trabajo realizado en los últimos meses en el marco del proyecto.

Durante 2023 se realizaron 2 cursos regionales. "Curso Regional de Capacitación sobre modificación de residuos de polímeros sintéticos por radiación" EVT 2206399. Organizado por el OIEA en cooperación con el Gobierno de Argentina, a través de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la colaboración del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Este curso fue propuesto originalmente para realizarse en México durante el año 2022. La directora del curso fue la Dra. María Verónica Vogt (CNEA, Argentina). En este evento participaron dos expertos del OIEA: la Dra. Chantara Thevy Ratnam y el Dr. Uwe Gohs. Se capacitó a un total de 29 participantes, de los cuales 12 eran participantes oficiales del OIEA. Nueve Estados miembros formaron al menos a un participante en modificación de residuos de polímeros sintéticos y viabilidad técnica. Entre los asistentes se encontraban investigadores, estudiantes universitarios, posibles usuarios finales y representantes del Ministerio de Desarrollo Social de Argentina.

Durante este curso los países presentaron sus proyectos y fueron discutidos con los expertos. En algunos casos se hicieron sugerencias para modificar parcial o totalmente la propuesta. En el caso de Ecuador, se sugirió modificar la idea inicial de reciclar residuos de bolsas para aumentar su degradabilidad, con una propuesta más atractiva para la industria. También se presentaron ejemplos de análisis técnico-económicos para la construcción de plantas de reciclaje de polímeros.

“Curso Regional de Capacitación en Tecnología de Radiaciones para la Industria de Polímeros”, bajo la dirección de la Dra. María Helena Sampa (CNEN, Brasil). Este curso se realizó a partir de la unión de 2 cursos regionales propuestos en el plan original: 2.4.1 RTC4_sobre transferencia de tecnología y factibilidad tecno-económica para la generación de nuevos productos y 2.6.1 RTC5: Curso Regional Virtual de Capacitación sobre estrategias de comunicación y marketing de nuevos productos. Al curso asistieron 14 participantes y por primera vez todos los países participantes se reunieron en persona. Los once Estados miembros que participan en el proyecto cuentan con al menos un participante capacitado en transferencia de tecnología.

3. Estudio de viabilidad técnica y económica de un producto de valor añadido desarrollado.

En 2023 participantes de Argentina, Brasil y México comenzaron a trabajar junto con el asesoramiento de expertos de la OIEA Dra. Chantara Thevy Ratnam y Dr. Uwe Gohs de encuentros virtuales con el objetivo de avanzar en la demostración a escala y tener el proceso de reciclado por radiación establecida.

En la reunión “Curso Regional de Capacitación sobre la Modificación de Residuos de Polímeros Sintéticos” se empleó en la evaluación técnica del proyecto de Costa Rica el instrumento llamado Technology Readiness Level (TRL), que permite evaluar la disponibilidad de la tecnología para ser transferida a nivel comercial. Con los resultados del instrumento Technology Readiness Level (TRL) se pudo estimar el avance de la tecnología y se determinó que los países con mayor avance (Argentina, Brasil y México) serán seleccionados para llevar a cabo los planes de viabilidad técnico-económica de la segunda etapa de proyecto (2024-2025) que está en proceso de aprobación.

Según los avances logrados a nivel país y la materia prima empleada por nuestro grupo se determinó que nuestra propuesta estaba en un nivel 2 (de 9) (ver anexo 02). De las observaciones dadas por los expertos, en próximas etapas se debe vincular la idea con algunas empresas interesadas para desarrollar el TRL 3.

Específicamente en México analizaron las condiciones experimentales para el procesamiento del PVC, rígido y plastificado y en presencia del agente reticulante, observándose el índice de amarillez en cada condición como indicador de degradación del polímero. Este estudio permitió simular el comportamiento del PVC en un proceso de reciclaje. Con base en los resultados obtenidos se determinaron condiciones experimentales importantes para el proceso de reciclaje de PVC rígido y plastificado.

En el proceso hacia la demostración del establecimiento de un proceso de reciclaje, se realizaron las siguientes actividades.

Primero, se extruyeron muestras de PVC rígido y plastificado, reforzado con 1, 2, 3 y 5% en peso de TMPTA como agente reticulante. Luego, las muestras de PVC reforzado se expusieron a radiación gamma a dosis de 40, 50 y 65 kGy. La estabilidad térmica de los materiales irradiados se mantuvo similar antes y después de la irradiación en términos de pérdidas de peso. Se observó que la Tg del polímero de las muestras estudiadas aumentó con la dosis de radiación ionizante, de 40 a 65 kGy, lo que indica que se logró un mayor grado de reticulación a 65 kGy. De este estudio se determinó que las muestras irradiadas a 40 kGy, mostraron las mejores condiciones de procesabilidad bajo los parámetros analizados de cambios de forma con la temperatura, en las

cuales todas las concentraciones de agente reticulante fueron favorables, arrojando un valor de % de gel de hasta 50%. y una rigidez de 587 a 590 MPa, dependiendo de la concentración del agente reticulante. Es necesario repetir los análisis de las propiedades mecánicas de las muestras estudiadas. Sin embargo, como lo sugirieron los expertos en las últimas reuniones de la OIEA con todos los participantes del proyecto RLA 1020, se está realizando el estudio del PVC expuesto a dosis más bajas de radiación gamma en concentraciones de TMPTA del 1 al 5% en peso. Una vez consolidadas estas modificaciones y obtenidos más resultados buscaremos una reunión particular con los expertos.

4. Se potencia la comunicación de alternativas para la reducción de residuos de polímeros con tecnología de radiación.

Los productos de difusión del proyecto se han realizado por medio de plataformas virtuales, correos institucionales, prensa nacional e internacional. Ejemplos de estos se han presentado en los puntos anteriores y en el **anexo 1**.

9. Discusión y conclusiones

Se deben mostrar las relaciones existentes entre los resultados obtenidos y los objetivos propuestos.

Recomendaciones para escribir una buena Discusión

- Trate de presentar los principios, relaciones y generalizaciones que muestran los resultados. Tenga presente que en la sección de Discusión se *discuten* los resultados no se recapitula la sección de Resultados.
- Señale cualquier excepción o ausencia de correlación y defina cualquier punto no resuelto, nunca escoja la alternativa de cubrir o adornar los resultados que no se ajustan.
- Muestre como sus resultados e interpretaciones concuerdan o contrastan con trabajos publicados previamente.
- Discuta las implicaciones teóricas de su trabajo, así como cualquier aplicación práctica posible.
- Resuma la evidencia para cada conclusión que presente.

El presente informe es una transcripción parcial del informe presentado por la coordinadora General del proyecto al ente financiador (IAEA). Dicho informe parcial, satisface los esperables según cronograma del proyecto aprobado. En general, el proyecto RLA 1020 es un esfuerzo regional en el uso de radiación ionizante en el tratamiento y aprovechamiento de polímeros sintéticos y naturales. El proyecto busca la transferencia de conocimiento entre especialistas a nivel mundial. Además, procura promover la difusión de resultados y comunicación con la población civil acerca de los beneficios de este tipo de tecnología.

De las reuniones se evidencia la relevancia de realizar estudios económicos y de prefactibilidad a nivel nacional de cada país sobre las tecnologías de irradiación aplicadas a valorizar residuos poliméricos. El objetivo debe estar enfocado a aplicaciones industriales sustentables más que a las

aproximaciones de escala de laboratorio o de investigación. Se pudo ver la gran brecha que existe entre los distintos países miembros, lo que hace necesario una nivelación y una difusión de experiencias, para a mediano y largo plazo, homogeneizar las capacidades de la región. Se requiere homogeneizar los criterios de avances tecnológicos e implementar la metodología TRL para establecer una cuantificación de avance de cada país.

El proyecto permitió evaluar el avance país de procesar biomasa en un producto de un mayor valor con un instrumento de transferencia de tecnología (TRL) a la etapa comercial. Con los resultados del instrumento Technology Readiness Level (TRL) se pudo estimar el avance de la tecnología y se determinó que los países con mayor avance (Argentina, Brasil y México) serán seleccionados para llevar a cabo los planes de viabilidad técnico-económica de la segunda etapa de proyecto (2024-2025) que está en proceso de aprobación. Los resultados confirman que es necesario procesos de escalamiento que no han sido contemplados por el grupo. Este proceso de escalamiento requiere de recursos e instrumentación que deben de buscarse de manera local e internacional.

De los resultados reportados en el informe parcial se evidencia el interés en la región latinoamericana para el tratamiento de residuos poliméricos de origen natural o sintéticos. El uso de radiaciones ionizantes es de interés en la búsqueda de estrategias para mejorar la respuesta de estos residuos. La cooperación regional permite la optimización del uso de los recursos de cada país en el aprovechamiento de materiales poliméricos con un mayor valor agregado. Y los procesos de escalamiento o transferencia de tecnología son necesarios en una estrategia de manejo de residuos efectiva.

10. Recomendaciones

Es posible que este proyecto continúe en una segunda etapa 2024-2025 coordinado a nivel país por la UNA. En esta etapa es posible promover los procesos de escalamiento y transferencia de tecnología a nivel país. La búsqueda de recursos o sociedades con terceros son necesarias para completar dicho objetivo, pues no está contemplado en los recursos del proyecto RLA.

11. Agradecimientos (opcional)

Aquí se agradece a la fuente de financiamiento (es obligatorio con algunas organizaciones), la colaboración de los asistentes técnicos, colegas que aportaron alguna idea, consejo o colaboraron en la revisión del artículo.

12. Referencias

[1]. OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). (2019). OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028. Food & Agriculture Organization of the UN (FAO). 5. Antony, A.

- & Vasudevan, R. (2018). A review on cellulose and its utilization from agro-industrial waste. *Drug Invention Today*, 10, 89-94.
- [2]. FAO (Food and Agriculture Organization). (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018*. United Nations.
- [3]. Antony, A. & Vasudevan, R. (2018). A review on cellulose and its utilization from agro-industrial waste. *Drug Invention Today*, 10, 89-94.
- [4] Fu, Y., Therkildsen, M., Aluko, R. E., & Lametsch, R. (2018). Exploration of collagen recovered from animal by-products as a precursor of bioactive peptides: Successes and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(13), 2011-2027.
- [5]. UNIDO (United Nations Industrial Development Organization). (2017). *Guía de recursos eficientes y producción más limpia. Sector camaronero*. Naciones Unidas Organización de Desarrollo Industrial.
- [6]. Brooks, A., Jambeck, J., & Mozo-Reyes, E. (2020). Plastic waste management and leakage in Latin America and the Caribbean. Technical note N° IDB-TN-02058. Inter-American Development Bank.
- [7]. UNEP (United Nations Environment Programme). *Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability*. 2018. [8]. Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Woerden, V. F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Publications.
- [9]. Biron, M. 3 - Recycling: The First Source of Renewable Plastics. In: Editor(s): Biron, M. *Industrial Applications of Renewable Plastics. Environmental, Technological, and Economic Advances*. 2017. William Andrew Publishing. Pages 67-114.
- [10]. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.
- [11]. Martínez-Barrera, G., Martínez-López, M., del Coz-Díaz, J. J., López-Gayarre, F., & Varela-Guerrero, V. (2019). Waste polymers and gamma radiation on the mechanical improvement of polymer mortars: Experimental and calculated results. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00273.
- [12]. EL-Zayat, M. M., Abdel-Hakim, A., & Mohamed, M. A. (2019). Effect of gamma radiation on the physico mechanical properties of recycled HDPE/modified sugarcane bagasse composite. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 56(2), 127-135.
- [13]. Kapoor, K., Tyagi, A. K., & Diwan, R. K. (2020). Effect of gamma irradiation on recovery of total reducing sugars from delignified sugarcane bagasse. *Radiation Physics and Chemistry*, 170, 108643
- [14]. IAEA-TECDOC-1763. ARCAL. *Regional strategic profile for Latin America and the Caribbean (RSP)*. 2016-2021. 2015. Pages 1-166.
- [15]. Draft document. *Agenda ARCAL 2030. Perfil estratégico regional para América Latina y el Caribe*. IAEA. Pages 1-162.
- [16]. CRP F23036: *Recycling of polymer waste for structural and non-structural materials by using ionizing radiation (stars in 2021)*.
- [17]. ARG1029: *Implementation of radiation technology using electron beam for industrial and environmental applications*.

[18]. RLA1013: Creating expertise in the use of radiation technology for improving industrial performance, developing new materials and products, and reducing the environmental impact of the industry (2016-2020).

[19] CRP F22046: Development of radiation-processed products of natural polymers for application in agriculture, healthcare, industry, and environment (2007-2013).

13. Apéndices (opcional)

Se puede utilizar en aquellos casos en que la información puede distraer la atención del lector. Se pueden incluir herramientas utilizadas para la recopilación de la información, la descripción detallada del equipo utilizado o productos intermedios obtenidos durante la ejecución del proyecto. Debe tomarse en cuenta que el informe es independiente de esta sección, esto es que ante la ausencia del apéndice, la información contenida en el informe de proyecto no pierde claridad.