

Revista Latinoamericana de Difusión Científica
Volumen 8 – Número 14
Depósito Legal ZU2019000058 - ISSN 2711-0494

Revista Latinoamericana de Difusión Científica



Volumen 8 - Número 14
Enero – Junio 2026
Maracaibo – Venezuela

Electrospinning y spincoating: Dando valor agregado a los plásticos

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18420173>

Alicia Agueda Conde-Islas*
José de Jesús Agustín Flores Cuautle**

RESUMEN

El PET (tereftalato de polietileno) es uno de los polímeros termoplásticos más populares y utilizados en todo el mundo debido a su versatilidad, durabilidad y propiedades únicas, lo que le ha permitido ser ampliamente utilizado en varios ámbitos, siendo uno de ellos para fabricar envases y embalajes. Sin embargo, y derivado también de su amplio uso, el PET enfrenta grandes desafíos y problemas ambientales, desde su acumulación como un residuo hasta la falta de una cultura e infraestructura de reciclaje, lo que genera problemas ambientales. Este artículo presenta dos técnicas mecánicas como alternativas para darle un valor agregado al PET (tratamiento de desechos), primero, el electrospinning, del que se pueden obtener nanofibras con aplicaciones en diversas áreas; segundo, el spincoating, con la finalidad de obtener películas delgadas que pueden ser utilizadas como materia prima para otros productos. Se destacan los avances, ventajas y desafíos como el uso de solventes tóxicos, la necesidad de condiciones precisas y las limitaciones en la producción a gran escala, que aun con estos desafíos estas técnicas son una gran oportunidad para el aprovechamiento y reciclaje de plástico que no solo fomentan la sostenibilidad, sino que también abren nuevas oportunidades para el aprovechamiento de un residuo en aplicaciones industriales, dando un valor agregado a un residuo generado.

PALABRAS CLAVE: Polímeros, Plásticos, Tratamiento de desechos, Nanotecnología, Nuevos materiales.

*Instituto Tecnológico de Orizaba, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6696-2152>. E-mail: alicia.ci@orizaba.tecnm.mx

***Investigador. SECIHTI- Instituto Tecnológico de Orizaba, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0468-4764>. E-mail: jflores_cuautle@hotmail.com

Electrospinning and Spincoating: Adding Value to Plastics

ABSTRACT

PET (polyethylene terephthalate) is one of the most popular and widely used thermoplastic polymers in the world due to its versatility, durability, and unique properties, which have allowed it to be widely used in various fields, one of which is the manufacture of containers and packaging. However, due to its widespread use, PET faces major environmental challenges and problems, from its accumulation as waste to the lack of recycling culture and infrastructure, which generates environmental problems. This article presents two mechanical techniques as recycling alternatives to add value to PET (waste treatment). The first is electrospinning, which can be used to obtain nanofibers with applications in various areas. The second is spincoating, which is used to obtain thin films that can be used as raw material for other products. The advances, advantages, and challenges are highlighted, such as the use of toxic solvents, the need for precise conditions, and limitations in large-scale production. Even with these challenges, these techniques are a great opportunity for the use and recycling of plastic, which not only promote sustainability but also open up new opportunities for the use of waste in industrial applications, adding value to the waste generated.

KEYWORDS: Polymer, Plastics, Waste treatment, Nanotechnology, New materials.

Introducción

Los plásticos se han convertido en uno de los materiales más utilizados desde su creación, destacando especialmente el PET (tereftalato de polietileno) como uno de los más empleados a nivel global. Las industrias como alimentos y bebidas son algunas de las industrias que más emplean este plástico. Por otro lado, el uso desmedido y las hasta ahora nulas o bajas estrategias de reciclaje han provocado su acumulación excesiva en todo el mundo (Sánchez et al., 2022).

El amplio uso del PET se debe a su versatilidad, lo cual lo hace ideal para una gran variedad de aplicaciones, desde la industria alimenticia hasta la construcción (Bolaños, 2019). Entre las características que lo distinguen destaca la amplia gama de métodos para procesarlo: soplado, inyección, extrusión; estos procesos permiten la producción de los más diversos artículos.

Desde el punto de vista mecánico, sobresale la dureza y rigidez que se le puede dar al PET; así mismo, su capacidad aislante de gases y corrosión lo hace ideal para contenedores de diversas sustancias, incluidos solventes y químicos. Como ventaja adicional, sus propiedades ignífugas y resistencia al desgaste lo posicionan como una opción para el almacenamiento de productos inflamables. En el tema de reciclaje, materiales como el PET tienen varias características que lo hacen un material totalmente adecuado para el reciclaje. Una de estas características es que, al ser un polímero termoplástico, puede deformarse y ablandarse al ser expuesto al calor, mientras que, al enfriarse, se transforma en una masa sólida, lo que facilita su reciclaje.

No obstante, el uso desmedido de los plásticos ha generado graves problemas ambientales, lo cual, junto con la agenda mundial, ha incrementado el interés por desarrollar métodos eficientes de reciclaje para este tipo de materiales, con el fin de reducir su impacto. Dentro de los métodos de reciclaje se pueden encontrar los métodos mecánicos, energéticos y químicos, cada uno de ellos con sus propias ventajas, desventajas y retos.

El PET puede clasificarse siguiendo diversos criterios, de acuerdo con su aplicación, a su estructura, entre otras. De acuerdo con la estructura, el PET se divide en amorfo y cristalino, el primero flexible, transparente y con baja resistencia mecánica; por otro lado, el PET cristalino es opaco, rígido y con mayor resistencia a la temperatura. De acuerdo con su aplicación, se puede encontrar PET virgen y reciclado. El PET virgen es empleado en la industria alimenticia para el almacenamiento de alimentos (sólidos y líquidos) y también es empleado en la industria textil. Por otra parte, el PET reciclado es empleado en materiales de construcción, envases, relleno para almohadas, etc.

El reciclaje mecánico es uno de los más económicos y fáciles de implementar, por lo cual es empleado frecuentemente (Uzosike y Padilla, 2023; Muringayil et al., 2024). Este tipo de reciclado consiste en la trituración de los residuos plásticos, su posterior lavado y, finalmente, fundirlos para fabricar nuevas piezas. Tal como se mencionó, este método es económico y relativamente sencillo; sin embargo, la calidad del PET reciclado bajo este método disminuye conforme al aumento en el número de procesos de reciclado. La razón de esto es que, en el reciclaje mecánico, el plástico es sometido a procesos físicos para material maleable o compactarse en una estructura sólida y, aunque en este tipo de reciclaje no se modifican las propiedades químicas del PET, es posible que, durante cada ciclo de

recuperación o reciclaje, se acumulen impurezas y el polímero se degrade, contribuyendo a la disminución de su calidad.

El reciclaje químico también es utilizado para el reciclaje de PET en sus monómeros originales; este proceso se conoce como despolimerización (Lang, 2023; Muringayil, 2024). Los monómeros originales pueden entonces volver a combinarse para generar un PET reciclado de alta calidad. Debido a su complejidad, este proceso se vuelve costoso, por lo cual su uso se encuentra sumamente limitado. También es posible el uso de solventes que transformen al plástico en sus componentes básicos mediante métodos como la glicólisis, metanólisis o hidrólisis. No obstante, pese a que se han desarrollado técnicas como las anteriores, el reciclaje químico sigue limitado dado los altos costos y la necesidad de nuevas tecnologías para lograr un reciclado de calidad y eficiente, sumado al impacto ambiental al ser necesario añadir catalizadores u otros químicos para la descomposición del plástico a su forma original (Arredondo, 2023).

El reciclaje por medios energéticos no es exactamente una forma de reciclaje, sino de extraer energía de los plásticos a partir de procesos térmicos tales como la incineración o la pirólisis (Radin, 2014). Este tipo de tratamiento se emplea para reducir el volumen de los residuos plásticos y al mismo tiempo generar energía. Las principales desventajas de este proceso se encuentran asociadas a la combustión en sí; en caso de que este proceso no se controle adecuadamente, se pueden generar emisiones altamente contaminantes. Adicionalmente, en este procedimiento no es posible recuperar el material.

El propósito de este trabajo es presentar algunas de las alternativas que se encuentran en la clasificación de medios fisicoquímicos para el reciclaje de PET; en particular, se enfocará en dos técnicas que nos permiten obtener filamentos y láminas, las cuales son denominadas como electrospinning y spincoating.

1. Electrospinning

Electrospinning, esta técnica es empleada comúnmente para transformar plásticos en nanofibras. Se basa en provocar que un alto voltaje atraiga al material eléctricamente cargado; la influencia del campo eléctrico debido al alto voltaje ocasiona que las fibras se aceleren y, por tanto, sean más delgadas. Esta técnica consta de los siguientes pasos: disolución de plásticos, carga en el equipo, formación de fibras.

El plástico a reciclar necesita estar disuelto, es decir, debe estar en forma de una solución. Para llevar al plástico a ese estado se pueden emplear solventes químicos o, en su defecto, incrementar la temperatura. Un ejemplo de solvente empleado para disolver el PET es el ácido trifluoroacético. Una vez que se obtiene la solución plástica, esta se carga en una especie de jeringa, se aplica un alto voltaje entre una aguja (que sirve de extrusor) y una plataforma llamada colector. Cuando el campo eléctrico sobrepasa un determinado valor, la tensión superficial del plástico se rompe y entonces dicho plástico sale a través de la aguja en forma de chorro y en dirección al colector. Durante el trayecto de la aguja hacia el colector, los solventes del plástico se evaporan, formando así la fibra plástica, misma que es depositada en el colector (Abbas, 2018; Reneker y Yarin, 2008).

Una desventaja importante que presenta esta técnica consiste en el empleo de sustancias volátiles, principalmente los solventes. Así mismo, la energía requerida para el manejo de este tipo de equipos es otro de los factores a tener en consideración. Las tendencias hacia los procesos verdes no son ajenas al spincoating; en este caso, los esfuerzos se enfocan en reducir el uso de solventes o, en su defecto, sustituirlos por solventes verdes tales como agua, alcoholes, entre otros. La Tabla 1 muestra una recopilación de algunas de las ventajas y desventajas de la técnica de electrospinning.

Respecto a la energía, las investigaciones se dirigen hacia el uso de energía solar para el curado y secado, o métodos de plasma de baja energía. En el caso de los materiales, se prefieren los biodegradables o aquellos con base orgánica.

Es de resaltar que la técnica de electrospinning permite procesar diversos tipos de materiales, tales como polímeros sintéticos, polímeros conductores; también es posible adicionar nanopartículas metálicas, nanotubos de carbón, fármacos, así como mezclar diferentes polímeros.

2. Spincoating

El método de spincoating es empleado para producir películas uniformes y de espesores en el rango de los micrómetros e incluso nanómetros. El funcionamiento de esta técnica se fundamenta en la fuerza centrífuga, por lo cual se coloca el material precursor sobre un disco, el cual se hace girar. En este momento, el precursor está sujeto a dos fenómenos principalmente: por un lado, la fuerza centrífuga que hace que el material se

desplace desde el centro del disco hacia el exterior, y, por otro lado, la viscosidad del material limita el flujo del mismo hacia el exterior. En la Figura 1 se muestra un esquema de un equipo de spincoating.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la técnica de electrospinning

Electrospinning	
Ventajas	Desventajas
Producción de nanofibras: Es el método ideal para la producción de nanofibras con tamaños que van desde los nanómetros hasta los micrómetros.	Requiere condiciones específicas: El proceso de <i>electrospinning</i> requiere condiciones precisas de voltaje, distancia y flujo de solución, lo que puede dificultar el control constante y la repetibilidad.
Alta área superficial: Las nanofibras producidas tienen una alta relación superficie/volumen, lo que las hace ideales para aplicaciones como filtración, tejidos y medicina.	Bajo rendimiento de producción: El proceso es relativamente lento y la producción de grandes cantidades de nanofibras puede ser costosa en comparación con otros métodos de fabricación.
Versatilidad: Se puede utilizar una amplia variedad de materiales, incluyendo polímeros naturales, sintéticos y compuestos, permitiendo una gran flexibilidad en aplicaciones.	Problemas de consistencia: La calidad de las fibras puede verse afectada por la variabilidad en la viscosidad, la conductividad y la humedad, lo que puede causar problemas de uniformidad.
Control sobre la estructura: Permite la creación de fibras con diferentes estructuras, como fibras continuas, reticuladas o coaxiales, lo que amplía su utilidad en diferentes campos.	Uso de solventes: Muchas soluciones de polímeros utilizadas en electrospinning requieren solventes que pueden ser tóxicos o peligrosos, lo que implica riesgos en términos de seguridad y sostenibilidad.
Aplicaciones en biomateriales: Es útil en la fabricación de andamios para la ingeniería de tejidos, ya que las fibras son biocompatibles.	

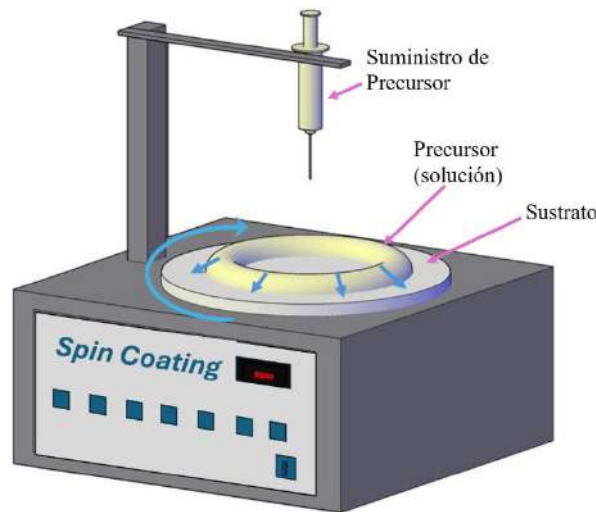


Figura 1. Esquema de un equipo de spincoating

De una manera general, se puede decir que este método consta de cuatro etapas, las cuales son deposición, aceleración, salida estable del fluido y evaporación de solventes; estas etapas se ilustran en la Figura 2. En la deposición, el precursor, generalmente en estado líquido o gel con baja viscosidad, es colocado en el centro (o cerca del centro) de la superficie giratoria.

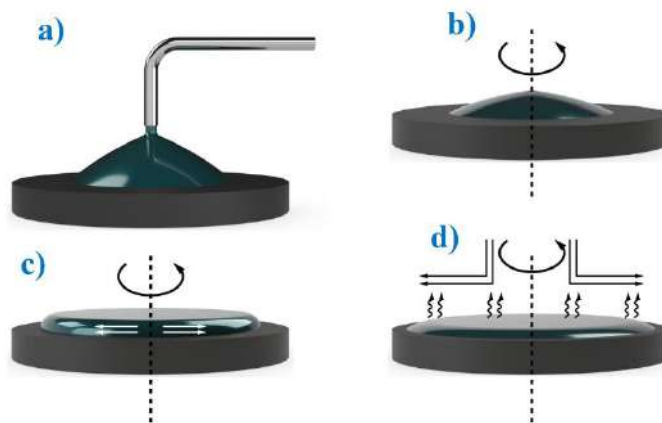


Figura 2. Etapas del spincoating, a) deposición, b) aceleración, c) salida estable del fluido y d) evaporación de solventes.

La viscosidad del material, la temperatura, el tamaño del sustrato y la velocidad inicial de giro del dispositivo constituyen los factores determinantes de la cantidad de material a depositar. Una vez que el material es depositado, la superficie rotatoria es acelerada hasta la velocidad de rotación previamente determinada. En esta fase, el material se desplaza hacia los bordes de la superficie rotatoria debido al movimiento de rotación. Una vez que se alcanza una velocidad de giro constante, la viscosidad del material determina principalmente la velocidad con la que el mismo se desplaza hacia los bordes del disco y con ello se determina el espesor de la película formada. La tensión superficial, viscosidad y velocidad de rotación pueden ocasionar variaciones en el espesor de la película deseada; el tiempo de rotación varía de acuerdo con el espesor deseado de la película, así como de la viscosidad del precursor.

La etapa de evaporación se refiere a la evaporación de los solventes empleados para modificar la viscosidad del precursor y con ello poder tener un mayor control sobre el espesor de la película final. Este proceso se efectúa a lo largo de las etapas descritas anteriormente; esto es debido a las altas velocidades de rotación del sustrato. La evaporación puede acelerarse desde el proceso de salida estable del fluido; sin embargo, esto altera la densidad y viscosidad del precursor, por lo cual en general se opta por una evaporación final fuera del equipo de spincoating.

A pesar de ser una técnica que puede considerarse simple, es necesario tener en consideración diversos factores cuando se emplea la técnica de spincoating. La limpieza del sustrato es necesaria para evitar cambios en la viscosidad o contaminación del precursor; para ello, el uso de solventes, así como el empleo de baños de ultrasonido, son técnicas de uso común. El secado de la película resultante es una de las etapas críticas, puesto que aquí se pueden modificar las propiedades mecánicas finales. Calor, aire y radiación UV son algunas de las formas que se emplean para este fin. Entre los avances que presenta esta técnica con la finalidad de reducir su impacto ambiental, el uso de energía solar para el secado de las películas es una de las opciones con mayor uso; por otro lado, el empleo de solventes verdes o la disminución de ellos es otra área de oportunidad. Finalmente, el uso de materiales biodegradables es ampliamente investigado para su uso en esta técnica. La Tabla 2 sintetiza algunas de las ventajas y desventajas de la técnica de spincoating.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la técnica de spincoating.

Spincoating	
Ventajas	Desventajas
Simplicidad y bajo costo: El proceso de spincoating es relativamente sencillo y requiere equipos de bajo costo comparado con otros métodos de deposición de películas delgadas.	Limitación de sustratos: No es adecuado para superficies no planas o rugosas, ya que la uniformidad del recubrimiento puede verse afectada.
Control de espesor: La velocidad de rotación puede ajustarse para controlar el espesor de la película depositada, lo que permite una buena uniformidad.	Desperdicio de material: Gran parte del material de recubrimiento se pierde, ya que se expulsa fuera del sustrato debido al giro.
Variedad de aplicaciones: Es adecuado para recubrimientos de superficies planas, como vidrio, silicio y metal, en diversas industrias como la microelectrónica, la óptica y los recubrimientos de materiales.	Espesor limitado: La capacidad para obtener películas gruesas es limitada, ya que el proceso es más adecuado para recubrimientos de micrómetros a nanómetros.
Recubrimiento uniforme: Produce películas finas y uniformes en sustratos lisos debido al movimiento de rotación.	Requiere control preciso: El control de la viscosidad y la velocidad de rotación debe ser preciso para obtener recubrimientos de calidad, lo que requiere un monitoreo constante.

3. Aplicaciones

Las fibras obtenidas del proceso de electrospinning tienen diversas aplicaciones en diferentes campos de estudio en la biomédica y salud se emplean en ingeniería de tejidos sirviendo como andamios para el crecimiento celular, vendajes en heridas en estos casos se pueden agregar agentes antibacteriales al material para prevenir infecciones (Herrera et al., 2025, Wang et al., 2024); en el campo del medio ambiente las membranas hechas con fibras de electrospinning pueden ser empleadas como filtros para partículas, agua o incluso

bacterias (Barud & De Sousa, 2022); en el campo de la energía es común el uso de membranas de este tipo en la creación de nuevos tipos de baterías.

Por otro lado, los materiales obtenidos mediante la técnica de spincoating son empleados en aplicaciones para dispositivos electrónicos de tipo orgánico en donde el espesor de las películas es crítico, elementos como los contactos eléctricos, la creación de capas aislantes, la fabricación de leds son solo algunos ejemplos de aplicación de materiales mediante la técnica de spincoating (He, 2024).

Conclusiones

Las técnicas de electrospinning y spincoating permiten no solo reciclar plásticos, sino que además dan un valor agregado a este tipo de materiales mediante propiedades físicas deseables para diversas aplicaciones, como, por ejemplo: la obtención de fibras con un diámetro controlable, así como de películas delgadas, hace de estas técnicas una opción para una gran variedad de aplicaciones.

A pesar del avance en estas técnicas, aún es necesario trabajar más en ellas con la finalidad de solventar los retos que aún persisten en su empleo. En el caso del spincoating, es necesario aumentar el rendimiento de esta técnica; así mismo, es deseable poder incrementar el espesor de las películas obtenidas.

Referencias

- Abbas, J. A., Said, I. A., Mohamed, M. A., Yasin, S. A., Ali, Z. A., & Ahmed, I. H. (2018, December). Electrospinning of polyethylene terephthalate (PET) nanofibers: Optimization study using taguchi design of experiment. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 454, p. 012130). IOP Publishing.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/454/1/012130/meta>
- Barud HS, De Sousa FB. Electrospun Materials for Biomedical Applications. *Pharmaceutics*. 2022 Jul 26;14(8):1556. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14081556>
- Bolaños Zea, J. J. G. (2019). Reciclado de plástico PET. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSP_5a984186f31dc103fde72bec0dd6484d
- Gutiérrez, U. A., Ramírez, M. A., Enríquez, M. F. M., Villanueva, A. Y. L. J., Parra, C. F. V., Huerta, Z. J. M., & Ávila, J. M. R. (2023). Evaluación de la despolimerización quimiolítica del PET como método alternativo de reciclaje. *Jóvenes en la Ciencia*, 21, 1-14.
<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3980>

He, Z., Asare-Yeboah, K., & Bi, S. (2024). Polystyrene applications in organic electronics. *Discover Electronics*, 1(1), 33. <https://doi.org/10.1007/s44291-024-00039-6>

Herrera Hernández, H., González Morán, C. O., Lara Hernández, G., Ramírez-León, I. Z., Trujillo Romero, C. J., Alcántara Cárdenas, J. A., & Flores Cuautle, J. J. A. (2025). Electrospinning Technology to Influence Hep-G2 Cell Growth on PVDF Fiber Mats as Medical Scaffolds: A New Perspective of Advanced Biomaterial. *Journal of Composites Science*, 9(8), 401. <https://doi.org/10.3390/jcs9080401>

Lang, W. T., Mehta, S. A., Thomas, M. M., Openshaw, D., Westgate, E., & Bagnato, G. (2023). Chemical recycling of polyethylene terephthalate, an industrial and sustainable opportunity for Northwest of England. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5), 110585. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110585>

Muringayil Joseph, T., Azat, S., Ahmadi, Z., Moini Jazani, O., Esmaeili, A., Kianfar, E., Haponiuk, J., & Thomas, S. (2024). Polyethylene terephthalate (PET) recycling: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100673. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100673>

Radin Mohamed, R. M. S., Misbah, G. S., Wurochekke, A. A., & Mohd. Kassim, A. H. B. (2014). Energy recovery from polyethylene terephthalate (PET) recycling process. *GSTF Journal of Engineering Technology (JET)*, 2(4), 12. <http://dx.doi.org/10.7603/s40707-013-0012-9>

Reneker, D. H., & Yarin, A. L. (2008). Electrospinning jets and polymer nanofibers. *Polymer*, 49(10), 2387-2425. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2008.02.002>

Sánchez, C. C. Z., Castro, G. B. L., & Anchundia, B. J. C. (2022). Materiales Poliméricos y el impacto ambiental: Una revisión. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(6), 596-614. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9042528>

Uzosike, C. C., Yee, L. H., & Padilla, R. V. (2023). Small-scale mechanical recycling of solid thermoplastic wastes: A review of PET, PEs, and PP. *Energies*, 16(3), 1406. <https://doi.org/10.3390/en16031406>

Wang, C., Su, Y., & Xie, J. (2024). Advances in Electrospun Nanofibers: Versatile Materials and Diverse Biomedical Applications. *Accounts of Materials Research*, 5(8), 987–999. <https://doi.org/10.1021/accountsmr.4c00145>

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

Declaración ética

Los autores declaran que el proceso de investigación que dio lugar al presente manuscrito se desarrolló siguiendo criterios éticos, por lo que fueron empleadas en forma racional y profesional las herramientas tecnológicas asociadas a la generación del conocimiento.

Copyright

La Revista Latinoamericana de Difusión Científica declara que reconoce los derechos de los autores de los trabajos originales que en ella se publican; dichos trabajos son propiedad intelectual de sus autores. Los autores preservan sus derechos de autoría y comparten sin propósitos comerciales, según la licencia adoptada por la revista.

Licencia CreativeCommons

Esta obra está bajo una Licencia CreativeCommons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

