

Materiales no Newtonianos a base de Almidón Entre el Análisis de propiedades y sus aplicaciones al Diseño Sostenible

Nadine T. El-Gazzar⁽¹⁾, Alberto T. Estévez⁽²⁾ y
Yomna K. Abdallah⁽³⁾

Resumen: El actual deterioro ambiental ha impulsado el diseño de materiales ecológicos a partir de recursos sostenibles y renovables, para superar los problemas ambientales actuales, incluidos los residuos orgánicos y el aumento de las emisiones de dióxido de carbono. Posteriormente, la producción de materiales sostenibles a partir de abundantes biopolímeros, como el almidón, ha despertado el interés de investigadores de diversas disciplinas. El almidón es un polímero natural, lo que significa que es creado por las células de los organismos vivos (Yumbla, F. *et al.*, 2023). Se extrae de diversas fuentes, como el maíz: una de las fuentes más prevalentes de residuos vegetales y una fuente vital de los mismos (Ibrahim, M.I.J. *et al.*, 2020). El presente estudio pretende analizar y mostrar las distinguidas propiedades de los materiales no newtonianos a base de almidón, concretamente la mezcla de almidón de maíz y agua, que forman un ejemplo biodegradable, no tóxico y económico de fluido no newtoniano conocido como “Oobleck”, con el fin de introducirlo como material arquitectónico sostenible. Debido a sus cualidades únicas, puede imitar las propiedades tanto de un sólido como de un líquido, dependiendo de la cantidad de fuerza aplicada. Este comportamiento inusual hace que su viscosidad cambie con la tasa de carga aplicada. En consecuencia, este escrito expondrá una revisión bibliográfica sobre la base química y las propiedades físicas y mecánicas del material no newtoniano a base de almidón, apoyada por sus aplicaciones exitosas que destacan las propiedades distintivas de tal material. En este contexto, estas líneas forman parte de una investigación en curso sobre la mejora de las propiedades físicas y mecánicas de materiales no newtonianos a base de almidón, investigado para utilizarlo en aplicaciones arquitectónicas.

Palabras clave: Polímero natural - Fluido no newtoniano - Propiedades del material - Comportamiento del material

[Resúmenes en castellano y en portugués en las páginas 133-134]

⁽¹⁾ **Nadine T. El-Gazzar**, investigadora doctoral en el iBAG-UIC Barcelona (Institute for Biodigital Architecture & Genetics-Universitat Internacional de Catalunya) desde el año 2022, y Profesor Asistente en el Departamento de Ingeniería Arquitectónica, Université Française d'Égypte (UFE), desde el año 2017. Máster Universitario en Arquitectura Biodigital, por la Universitat Internacional de Catalunya, el año 2020, y licenciada en Ingeniería Arquitectónica, Université Française d'Égypte (UFE), y L'Institut National des Sciences

Appliquées de Strasbourg - INSA Strasbourg, desde el año 2017. En Septiembre 2020 publica el artículo “Celulosa Bacteriana como Material Base en Arquitectura Biodigital [Entre El Desarrollo de Biomateriales y La Personalización Estructural]”, en la revista científica indexada *Green Building*, con Alberto T. Estévez y Yomna K. Abdallah como coautores (<https://doi.org/10.3992/jgb.16.2.173>).

⁽²⁾ **Alberto T. Estévez**, Arquitecto (UPC, 1983), Doctor en Ciencias (Arquitectura, UPC, 1990), Historiador del Arte (UB, 1994), Doctor en Letras (Historia del Arte, UB, 2008), con oficina de arquitectura y diseño en Barcelona (1983-hoy). 40 años de docencia e investigación en diversas universidades. Fundador y primer Director de la ESARQ - UIC Barcelona School of Architecture (1996), donde ejerce como Catedrático de Arquitectura. Creador del grupo de investigación, máster y doctorado “Historia, Arquitectura y Diseño” (UIC, 1998-hoy), y del grupo de investigación, máster y doctorado “Arquitecturas Genéticas” (UIC, 2000-hoy), actualmente Máster de Arquitectura Biodigital. Así como creador del Máster de Cooperación Internacional con Alex Levi y Amanda Schachter (UIC, 2004-hoy). Con más de tres centenares de publicaciones, decenas de exposiciones, congresos y comités, e invitado a impartir más de 100 conferencias internacionales sobre sus ideas y trabajos. Ha sido Director de 25 tesis doctorales, y de más de cien tesis de máster y grado. Con 6 sexenios de investigación oficialmente reconocidos. Fundador-Director del iBAG-UIC Barcelona (Institute for Biodigital Architecture & Genetics), y Fundador del Doctorado en Arquitectura de la UIC Barcelona, del que ha sido su primer Director. Últimamente fue también Vicerrector-Gerente de la UIC Barcelona (Universitat Internacional de Catalunya).

⁽²⁾ **Yomna K. Abdallah**, Profesora Lectora de la ESARQ-UIC Barcelona School of Architecture (Universitat Internacional de Catalunya), Subdirectora del iBAG-UIC Barcelona (Institute Biodigital Architecture & Genetics), así como Subdirectora del Programa de Maestría en Arquitectura Biodigital desde 2019. Se graduó en la Facultad de Artes Aplicadas de la Helwan University (2012), y obtuvo su Maestría en la misma universidad con una calificación de Excelente (2016), y su Tesis de Maestría ganó el Premio a la mejor Tesis de Maestría de la Universidad de Helwan (2016-2017). Es Doctora en Arquitectura (2020) por la Universitat Internacional de Catalunya, y presentará el año 2024 su segunda tesis doctoral, esta vez en el campo de la Bioingeniería en la misma universidad. Cofundó el BioLab del iBAG (2019), desde el que también se imparte el mencionado programa de arquitectura biodigital. Ha sido investigadora visitante y científica invitada en varias universidades e instituciones de investigación de alto rango, como la Facultad de Ciencias de la Universidad de El Cairo, la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada y el Instituto Max Planck de Coloides e Interfaces en Potsdam. Sus intereses de investigación incluyen la integración de cultivos microbianos y celulares en biosistemas y biomateriales para lograr aplicaciones arquitectónicas renovables, regenerativas, bioactivas y sostenibles en el entorno construido. Así se ha manifestado en sus numerosas publicaciones en revistas indexadas del primer y segundo cuartil, y en diversas editoriales de prestigio, así como en su docencia desde el BioLab, que en sus tres últimas ediciones, han tratado de lo siguiente: el año 2021, bioelectricidad: pilas de combustible microbianas para electricidad

renovable (se ganó con ello el concurso de jóvenes creativos de Swarovski para la sostenibilidad), el año 2022, desarrollo de biocompuestos a base de conchas marinas y cáscaras de huevos para aplicaciones arquitectónicas (paneles biorreceptivos), y el año 2023, columnas de arcilla biorreceptivas (desarrollo de columnas de arcilla biorreceptivas impresas en 3D con microtexturas para la inmovilización de mezclas cultivos de algas).

1. Introducción

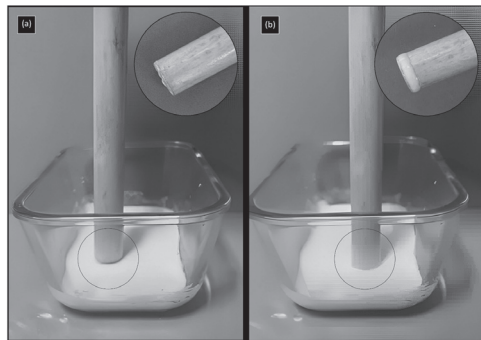
Los materiales y sus propiedades juegan un papel crucial en el proyecto de diseño arquitectónico, al mismo tiempo que resaltan su desempeño e impacto ambiental. Hoy en día, la creación de materiales arquitectónicos a partir de recursos renovables y sostenibles está ganando considerable atención para superar los inconvenientes de los materiales no biodegradables y su contribución al actual deterioro ambiental, incluidos los residuos orgánicos y la escalada de emisiones de dióxido de carbono. Además, el desarrollo de materiales arquitectónicos a partir de recursos naturales siempre ha sido un enfoque eficaz para proporcionar a los diseñadores visiones únicas y una gran cantidad de ideas creativas para sus conceptos. Además de servir como fuente de inspiración para expresiones tanto naturales como estéticas, lo que a su vez conduce a la eficiencia en términos de energía y costos, y a la capacidad de crear una comunidad sostenible y saludable. En este contexto, investigadores de diversas disciplinas se han interesado en el desarrollo de materiales sostenibles derivados de polímeros naturales gracias a sus propiedades únicas y diversas, como su capacidad de biodegradación. El almidón es el componente principal para el almacenamiento de energía en las plantas y es uno de los biopolímeros más prometedores y disponibles porque no es tóxico y es de bajo costo. El almidón se extrae de diversas fuentes como el maíz. Se puede combinar con otros materiales para mejorar el rendimiento integral de los materiales a base de almidón y ampliar el campo de aplicación del material investigado (*Ver Figura 1*) (Hou, X. *et al.*, 2023).

Esta investigación, se centra en la mezcla de maicena (se llama coloquialmente maicena a la harina de almidón de maíz, y se extrae del endospermo del grano de maíz) y agua en una proporción 2:1, que forma un fluido no newtoniano conocido como "Oobleck", como un nuevo campo de investigación en el diseño arquitectónico que cambia de forma. Es un ejemplo económico y no tóxico de fluido no newtoniano (Krishna, V. *et al.*, 2021). Además, Oobleck tiene características físicas, mecánicas y químicas distinguidas; puede imitar las propiedades tanto de un sólido como de un líquido dependiendo de la cantidad de fuerza aplicada; se comporta como un líquido al aplicar una fuerza lenta, en cambio, al aplicar una fuerza fuerte, el líquido Oobleck se solidifica (*Ver Figura 2*). En consecuencia, en este escrito se presentará la revisión de la bibliografía sobre la base química y las propiedades físicas y mecánicas de este material no newtoniano a base de almidón. Además, en las siguientes líneas se muestra el estado del arte de los proyectos en curso e ideas creativas, que se agrupan por su eficiencia y bajo impacto ambiental, para demostrar sus potenciales aplicaciones en varias disciplinas, gracias a sus diversas propiedades. Dentro de este

marco, este capítulo forma parte de un proyecto de investigación que tiene como objetivo mejorar las propiedades físicas y mecánicas del material no newtoniano estudiado hecho de almidón, con el fin de introducirlo en el enfoque del diseño arquitectónico de cambio de fase.



1



2

Figura 1.

Las ventajas del almidón: el almidón es un biopolímero prometedor, que ofrece diversas ventajas y beneficios. Imagen de los autores.

Figura 2.

Prueba del comportamiento de Oobleck: representando el comportamiento de Oobleck, cuando se aplica una tensión rápida actúa como un sólido (a), cuando se aplica una tensión lentamente se comporta como un líquido (b). Imagen de los autores.

2. Materiales no Newtonianos

En el siglo XVII, Sir Isaac Newton descubrió que la mayoría de los fluidos tienen una viscosidad constante, lo que significa que el comportamiento de los fluidos cambia en función de la temperatura, estos fluidos se clasifican específicamente como fluidos newtonianos, como el agua y el aceite. La viscosidad es la propiedad que describe la resistencia de un fluido al fluir bajo tensión o fuerzas cortantes. Un fluido con baja viscosidad fluye fácilmente, mientras que un fluido con alta viscosidad resiste la fuerza al fluir. Sin embargo, se ha descubierto que algunos fluidos no obedecen estas reglas básicas, de ahí el nombre de fluidos no newtonianos (*Ver Figura 3*) (Yumbra, F. *et al.*, 2023, abril). Existen diferentes tipos de fluidos no newtonianos, en esta investigación, el Oobleck es el material estudiado, como un material diletante no newtoniano que muestra propiedades de espesamiento por corte, lo que significa que, de acuerdo con la cantidad de tensión, la viscosidad puede cambiar inmediatamente, esto puede cambiar el espesor y el comportamiento del fluido, volviéndose más líquido o más sólido.

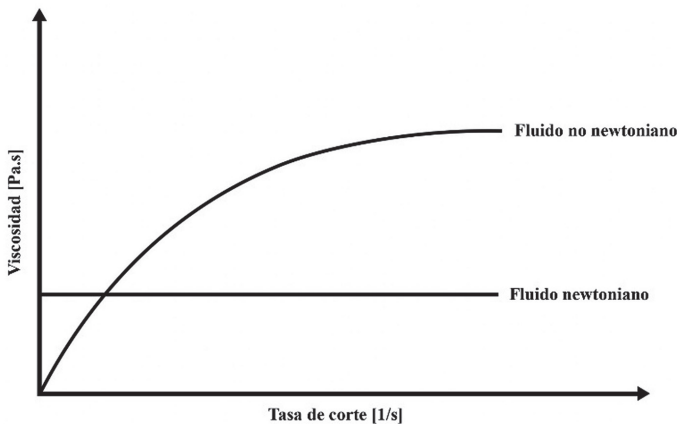


Figura 3. Diagrama comparativo de viscosidad-tasa de corte para fluidos no newtonianos y newtonianos. Los fluidos newtonianos tienen una viscosidad constante con la velocidad de corte aplicada. Por el contrario, el fluido no newtoniano (Oobleck) su viscosidad es directamente proporcional a la velocidad de corte aplicada. Imagen de los autores.

3. Oobleck: Material a Base de Almidón

Oobleck es un ejemplo económico y no tóxico de un fluido no newtoniano; es una suspensión de almidón de maíz en agua en una proporción apropiada de 2:1 para obtener la propiedad de un fluido no newtoniano (Krishna, V. *et al.*, 2021, 23 de febrero). Lo más fascinante de Oobleck es su capacidad para imitar las propiedades de un sólido o un líquido cuando se aplica una fuerza. Este comportamiento inusual hace que su viscosidad cambie con la tasa de carga aplicada. El nombre Oobleck fue inventado por Theodor Seuss Geisel, conocido como Dr. Seuss, en su libro “Bartholomew and the Oobleck” del año 1949 (Lima, E.A. *et al.*, marzo de 2020). Debido a esto, los investigadores usan este nombre para referirse a la mezcla de maicena y agua que exhibe un comportamiento inusual dependiendo de la cantidad de fuerza aplicada. Debido a sus distinguidas cualidades, una persona puede atravesar una extensión sustancial de esta mezcla de maicena y agua sin hundirse. A modo de ejemplo, cuando se aplica una carga fuerte, las cadenas de polímero no tienen tiempo de reorganizarse y los granos de maicena se enredan entre sí y actúa como un sólido. Por otro lado, cuando se aplica una carga gradual, las moléculas de maicena tienen tiempo de reorganizarse y las moléculas de agua fluyen entre ellas permitiendo que las moléculas de maicena fluyan fácilmente y actúe como un líquido.

4. Propiedades Químicas

Como se mencionó anteriormente, la química de Oobleck se construye a partir de maicena y agua mezcladas en una proporción de 2:1. El almidón de maíz está compuesto por un 27% de amilosa, la forma más fundamental y la cadena lineal de las moléculas de almidón, mientras que la amilopectina, la forma ramificada de las moléculas de almidón con numerosos puntos finales, constituye el 73% (Krishna, V. *et al.*, 2021). La amilopectina es una molécula ramificada porque está compuesta por varias cadenas más cortas que están unidas entre sí, mientras que la amilosa es una molécula lineal o ligeramente ramificada, ya que está compuesta por una o varias cadenas largas (*Ver Figura 4*). Ibrahim, M.I.J., *et al.* (2020) examinaron la morfología de los gránulos de almidón de maíz mediante la utilización de microscopía electrónica de barrido (SEM). La forma de los gránulos de maicena exhibe una variedad de formas que van desde formas esféricas hasta formas poliédricas con estructura sólida, y sus tamaños son bastante similares, de menos de 40µm. Cuando la mezcla se agita, las cadenas de almidón de maíz y las moléculas de agua interactúan para formar el fluido no newtoniano que tiene una respuesta de rendimiento inusual cuando se aplica fuerza, debido a sus propiedades de espesamiento por cizallamiento. Como se indicó anteriormente, al estar compuesto de maicena y agua, Oobleck se secará rápidamente a temperatura ambiente sin necesidad de una fuente adicional de energía. La interacción de los enlaces de amilopectina con las bacterias atmosféricas provoca la degradación del Oobleck. En consecuencia, para mejorar la vida útil de Oobleck, es necesario realizar investigaciones sobre diversos aditivos químicos, sin comprometer las propiedades mecánicas que proporciona Oobleck.

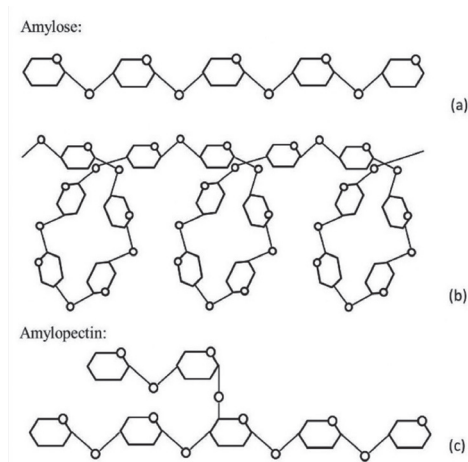
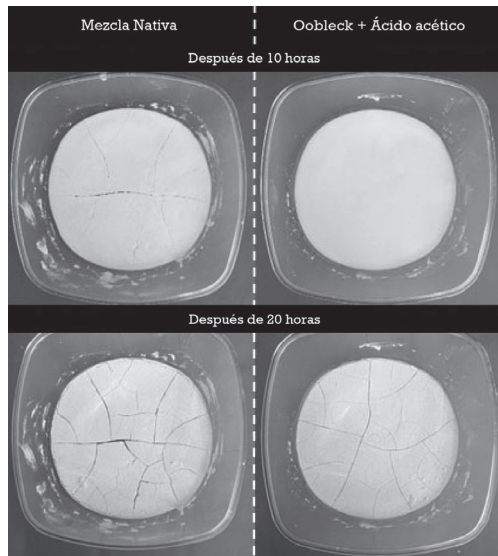
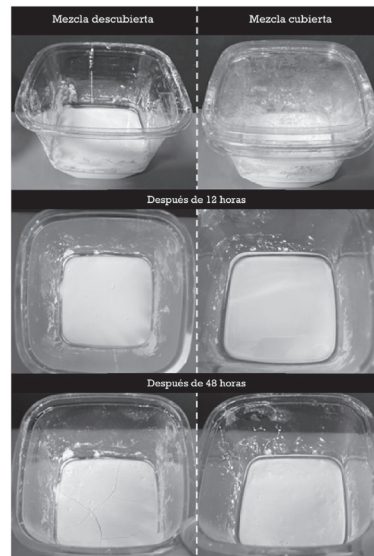


Figura 4.
Composición de la maicena: estructura de la amilosa lineal (a), helicoidal (b), amilopectina (c). Imagen en Horstmann, S.W. *et al.*, 2017.

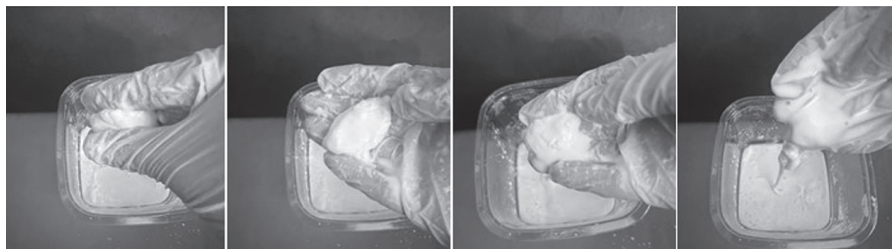
Para abordar este fenómeno se han llevado a cabo dos experimentos con materiales utilizando dos metodologías distintas y se ha examinado su deshidratación. La primera técnica consiste en añadir vinagre, una solución acuosa de ácido acético, a la mezcla original. El vinagre es humectante y resiste el crecimiento de bacterias en el agua (Krishna, V. *et al.*, 2021), manteniendo la mezcla líquida por más tiempo evitando la degradación del Oobleck. En este experimento, se agregaron 10 ml de vinagre a la mezcla de maicena y agua en una proporción de 2:1 mientras se usaban 60 g de maicena. La solución se dejó secar durante 20 horas a temperatura ambiente (25°C). Como resultado de este experimento, se ha demostrado que la mezcla de maicena y agua con adición de vinagre tiene la capacidad de retener agua durante diez horas más que la solución original sin perder las propiedades únicas de fluido no newtoniano (Ver Figura 5). En el segundo experimento, se cubrió el recipiente que contenía una solución de almidón de maíz y agua, con una cubierta impermeable al aire, para obstruir la reacción química entre la mezcla y el entorno circundante y ralentizarla. La solución se mantuvo en observación durante dos días a temperatura ambiente (25°C) junto a otro recipiente de solución Oobleck que contenía la misma cantidad de mezcla de maicena y agua pero que quedó expuesto. Como resultado de este experimento, después de dos días, la solución cubierta continuó reteniendo agua y mantuvo sus características distintivas como material no newtoniano, mientras que la mezcla expuesta perdió su comportamiento regular y se solidificó con numerosas fisuras (Ver Figuras 6 y 7).



5



6



7

Figura 5. Comparación entre la mezcla de maicena y agua, y la mezcla de maicena y agua con la adición de vinagre. De arriba a abajo: después de 10 horas, la mezcla se solidificó y se rompió en dos fisuras verticales y una fisura horizontal, mientras que la mezcla de maicena y agua con la adición de vinagre, aún retenía agua y conservaba su comportamiento inusual. Después de 20 horas, la segunda mezcla también se fracturó pero con menos fisuras que la original, que tenía varias fisuras en diferentes direcciones (Imagen de los autores).

Figura 6. Comparación entre los recipientes de mezcla de agua y maicena cubiertos y descubiertos. De arriba a abajo: después de 12 horas, ambas soluciones continuaron reteniendo agua, pero la cubierta tenía un nivel de agua más alto. Después de 20 horas, la solución cubierta continuó reteniendo el fluido, pero la cantidad de agua disminuyó lentamente mientras que la mezcla expuesta perdió su comportamiento regular y se fracturó (Imagen de los autores).

Figura 7. La capacidad de la solución cubierta para retener agua y preservar sus propiedades únicas como material no newtoniano después de dos días (Imagen de los autores).

5. Propiedades Físicas y Mecánicas

Oobleck es una sustancia blanca, conocida como líquido espesante. En ausencia de estrés o cuando se aplica una carga gradual, Oobleck se ve y se siente como un líquido, mientras que aparece y se siente como un sólido cuando se le aplica presión. Además, se puede colorear utilizando tintes no tóxicos como colorantes alimentarios (Ver Figura 8).

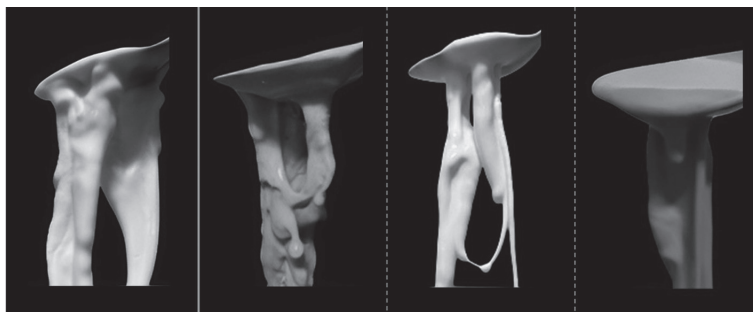


Figura 8. Experimento sobre la capacidad de Oobleck para colorearse usando colorante alimentario. De izquierda a derecha: Oobleck con el color blanco original, Oobleck coloreado en azul, amarillo y verde usando colorantes alimentarios (Imagen de los autores).

En el líquido Oobleck, los granos de maicena están suspendidos en agua y permanecen intactos en lugar de disolverse en agua. Cuando se aplica una carga significativa, los granos de maicena se bloquean en su lugar porque se frotran entre sí, lo que aumenta la viscosidad y hace que se comporte como un sólido. En reposo, o cuando se aplica una fuerza ligera, las moléculas de maicena están rodeadas por moléculas de agua, debido a la alta tensión superficial del agua (Yumbla, F. *et al.*, 2023, abril). Así, los granos de maicena pueden fluir fácilmente debido a la ligera fuerza, y el movimiento de las moléculas de agua entre ellas funciona como lubricante, la viscosidad no se ve afectada, y la mezcla se comporta como un líquido (Ver Figura 9). El fenómeno peculiar observado en Oobleck se conoce como engrosamiento por cizallamiento, teniendo lugar en los materiales formados por partículas sólidas microscópicas suspendidas en un fluido, en esta mezcla estudiada, gránulos de maicena sobre agua.

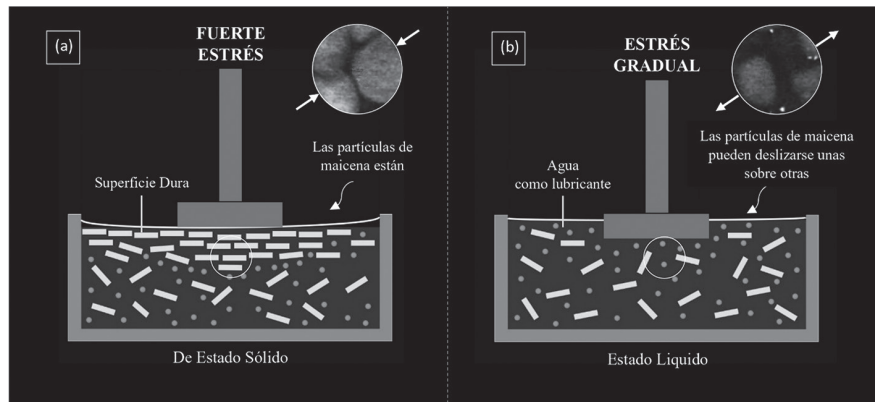


Figura 9. Comportamiento inusual de Oobleck dependiendo de la cantidad de fuerza aplicada. Cuando se someten a una carga significativa, las cadenas de polímeros no pueden reorganizarse rápidamente, lo que provoca que los granos de maicena se entreden entre sí. Este entrelazamiento eleva la viscosidad de la mezcla, provocando que presente un comportamiento sólido (a). Por otro lado, cuando se impone una carga gradual, las moléculas de almidón de maíz tienen tiempo suficiente para reorganizarse, mientras que las moléculas de agua se mueven libremente entre ellas, permitiendo que las moléculas de almidón de maíz fluyan sin esfuerzo. En consecuencia, la viscosidad no se ve afectada y presenta un comportamiento líquido (b) (Imagen de los autores).

Para investigar este fenómeno inusual en respuesta a varios niveles de presión, se llevaron a cabo los dos experimentos siguientes utilizando dos técnicas diferentes. En el primer experimento, se dejó caer un cuboide sobre la superficie de una mezcla de maicena y agua. Por lo general, cuando el objeto golpea la superficie, el impacto provoca que las partículas de maicena entren en contacto entre sí y la mezcla reacciona como un sólido. Por otro lado, al hacer oscilar el recipiente tanto en el sentido de las agujas del reloj como en el sentido contrario a las agujas del reloj, las partículas se desplazan de sus posiciones originales, provocando una falta de contacto entre ellas, y esto hace que actúe como un líquido, y el objeto se hunda en la mezcla, más rápido y finalmente quedó cubierto parcialmente por la mezcla de maicena y agua (Ver Figura 10).

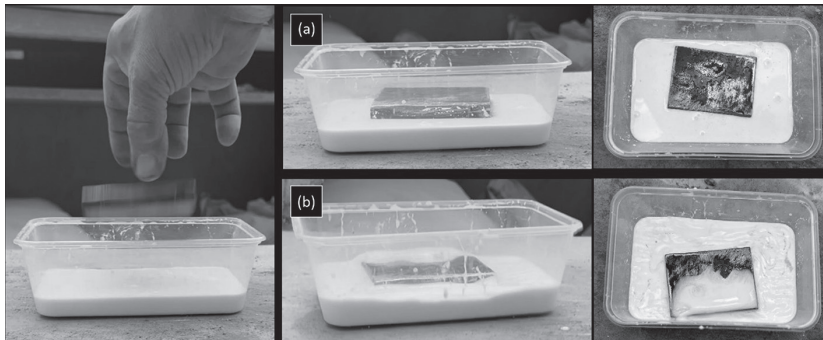


Figura 10. Experimento del comportamiento de Oobleck usando un cuboide sólido. Cuando se sometió a una fuerza externa, la mezcla se transformó en un sólido. El objeto arrojado a la superficie de la mezcla de maicena y agua se hunde lentamente (a). Por el contrario, cuando el recipiente se giraba en el sentido de las agujas del reloj y en el sentido contrario a las agujas del reloj, esencialmente trabajaba en la transformación de la mezcla a un estado líquido, lo que resultaba en un hundimiento más rápido del cuboide (b) (Imagen de los autores).

En el segundo experimento, la mezcla se colocó en una jeringa de 100ml, que tiene un diámetro de cuerpo de 6mm y un diámetro medio de aguja de 2mm. La mezcla de maicena y agua se solidificó a medida que ejercimos esfuerzo, brindando resistencia y potencial de forma. Posteriormente, después de dibujar las formas, la mezcla cambió de sólida a líquida y se salió del dibujo, lo que resultó en una inexactitud en las formas dibujadas (Ver Figura 11).

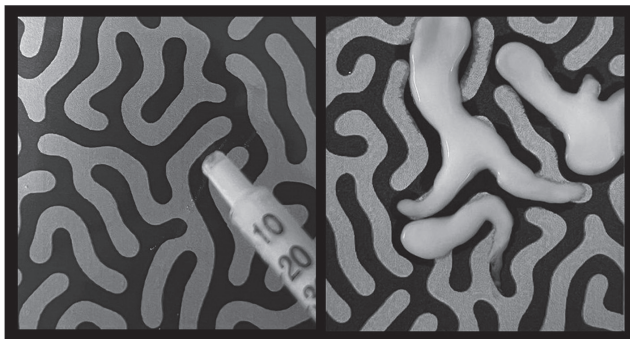


Figura 11. Experimento sobre el comportamiento de Oobleck usando una jeringa de 100ml. A medida que se aplicaba fuerza, la combinación de maicena y agua se solidificaba, creando una sustancia que ofrecía resistencia y capacidad de moldeado. Sin embargo, una vez que se crearon las formas deseadas, la mezcla pasó de un estado sólido a uno líquido, lo que provocó que se saliera de los contornos y provocara imprecisiones en las formas. Imagen de los autores.

6. Aplicaciones: Enfoques Recientes

Debido a sus propiedades únicas como fluido no newtoniano, se han realizado numerosas aplicaciones potenciales, mientras se explica el comportamiento inusual de este material granular suspendido en agua en diversas condiciones, mediante el desarrollo de prototipos y pruebas experimentales con el fin de resaltar la eficiencia de su uso en diferentes enfoques. A modo de ejemplo, sobre la aplicación de esta mezcla de maicena y agua en muchas aplicaciones del mundo real, serviría como material de embalaje, amortiguadores de velocidad en lugar del disyuntor de plástico, pinzas blandas como solución viable en el campo de la robótica blanda, reparación de baches y fabricación de herramientas de seguridad, como almohadillas para los antebrazos, visualización de ondas sonoras en el campo de la cimática, etc. Por lo tanto, esto revela su importancia al aplicar recursos ecológicos para producir materiales de bajo costo y totalmente biodegradable: una excelente solución para reducir los desechos, con el fin de crear un ambiente saludable, y futuro comunitario y sostenible. La *Tabla 1* presenta dichas aplicaciones manifestando las técnicas aplicadas para lograr esos diferentes escenarios y los resultados finales gracias a sus características distintivas como:

- Sostenibilidad.
- No toxicidad.
- Viscoelasticidad.
- Moldeabilidad.
- Asequibilidad.
- Capacidad de visualizar ondas sonoras.
- Capacidades de resistividad y absorción de impactos.
- Posibilidad de colorearse o mezclarse con otros materiales para mejorar el rendimiento.

Tabla 1. Presentación de los enfoques recientes para utilizar Oobleck en muchas aplicaciones del mundo real.

Aplicaciones	Calidad destacada	Técnica (Estado)	Resultados
Oobleck utilizado como material principal para crear una novedosa pinza blanda que ofrece una solución prometedora en el campo de la robótica blanda. (YUMBLA, F. et al., 2023, abril).	<ul style="list-style-type: none"> . Propiedades de espesamiento por cizallamiento . Sostenibilidad . Asequibilidad . Viscoelasticidad 	Oobleck dentro de una membrana de caucho, y el mecanismo actuador compuesto por una estructura elástica y una rígida (material PLA) que se desliza sobre la estructura elástica para producir las fuerzas para la solidificación de Oobleck.	Los resultados de este enfoque se han demostrado mediante pruebas experimentales que muestran la capacidad de agarrar objetos con éxito y sujetarlos con seguridad.
El uso de Oobleck como material de embalaje demuestra su tremenda capacidad de amortiguación. (KRISHNA, V. et al., 2021).	<ul style="list-style-type: none"> . Propiedades de espesamiento por cizallamiento . Sostenibilidad . Asequibilidad . Viscoelasticidad . Buena capacidad de absorción de impactos 	Se ha colocado un huevo en una bolsa transparente junto con la mezcla de maicena y agua. Luego, la bolsa de transporte se deja caer desde una altura conocida para crear un impacto tanto en el oobleck como en el huevo.	La prueba de caída del huevo proporciona evidencia clara de que oobleck posee la capacidad de absorber una cierta cantidad de energía del impacto sin disiparla al huevo.
Aplicación de Oobleck como interruptor de velocidad en lugar del convencional y del interruptor de velocidad de plástico. (REVATHI, S., KUMAR, A.S., 2020, marzo).	<ul style="list-style-type: none"> . Propiedades de espesamiento por cizallamiento . Sostenibilidad . Asequibilidad . Viscoelasticidad . Buena capacidad de absorción de impactos 	El Oobleck se conserva dentro de la fibra de Kevlar, sirviendo como material de embalaje impermeable que mantiene las propiedades de la sustancia interna. Además, la fibra de Kevlar presenta baja conductividad térmica y reactividad química.	Los hallazgos indican que la efectividad de utilizar Oobleck en el interruptor de velocidad es sensible a la velocidad de los vehículos; además, el costo de producir el interruptor de velocidad Oobleck es relativamente más económico en comparación con el interruptor de velocidad tradicional.

Conclusión

Este capítulo es parte de un proyecto de investigación que propone un material no newtoniano a base de almidón, investigado como posible futuro material arquitectónico sostenible, para superar los problemas ambientales actuales que resultan de la escalada de las emisiones de dióxido de carbono, el aumento de los residuos agrícolas y la pérdida de biodiversidad. En este marco, el estudio tiene como objetivo mejorar las propiedades físicas y mecánicas del Oobleck, con el fin de incorporarlo a un enfoque de diseño arquitectónico de cambio de fase. Por lo tanto, la revisión de la bibliografía sobre la composición química inusual y las propiedades físicas y mecánicas únicas de este material no newtoniano, a base de almidón, se ha presentado con el fin de obtener una comprensión completa de este fluido espesante ante el cizallamiento. A sus diferentes aspectos y variadas cualidades, como la capacidad de visualizar ondas sonoras, de absorber impactos, y de incorporar sustancias adicionales, se añade el que actúa como líquido ya sea en estado de reposo o cuando se aplica una fuerza baja, o como sólido cuando se aplica un estrés alto, a diferencia de fluidos

newtonianos. Y en este escrito se han comentado las pruebas científicas realizadas, para analizar e investigar su extraño comportamiento y propiedades sobresalientes, utilizando dos metodologías distintas para aplicarlo a escala arquitectónica. Además, se han presentado los experimentos que ayudarían a superar el problema de la degradación del Oobleck debido a la reacción entre las bacterias presentes en el aire y las moléculas de almidón de maíz, agregando una solución acuosa de ácido acético para mantener el material hidratado por un tiempo prolongado. Posteriormente, para resaltar todas estas propiedades materiales únicas del fluido no newtoniano estudiado, los autores han propuesto también proyectos y conceptos innovadores, relevantes por su efectividad y bajo impacto ambiental, junto con potenciales estrategias de aplicación que pueden resultar beneficiosas.

Referencias bibliográficas

- Barati, B., Karana, E., & Hekkert, P. (2019). Prototyping materials experience: Towards a shared understanding of underdeveloped smart material composites. *International Journal of Design*, 13(2), pp. 21-38.
- Baumgarten, S. & Kamrin, K. (2019, Septiembre 27). A general constitutive model for dense, fine-particle suspensions validated in many geometries. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. Recuperado de <https://doi.org/10.1073/pnas.221401712>.
- Brownell, B. (2012). *A Practical Use for Oobleck Architect*. Recuperado de https://www.academia.edu/43433888/A_Practical_Use_for_Oobleck.
- Camere, S. & Karana, E. (2018). Fabricating materials from living organisms: An emerging design practice. *Journal of Cleaner Production*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.081>.
- Cruz, M. & Beckett, R. (2016). Bioreceptive design: A novel approach to biodigital materiality. *Arq: Architectural Research Quarterly*. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/S1359135516000130>.
- Elbakush, E., Ibrahim, S., Mustafa, S. & Halawani, A. (2017, Noviembre 6). *On the performance of human energy harvesting technology*. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8283463>.
- Elgazzar, N. T., Estévez, A.T. & Abdallah, Y.K. (2021). Bacterial cellulose as a base material in biodigital architecture (between bio-material development and structural customization). *Journal of Green Building*. Recuperado de <https://doi.org/10.3992/jgb.16.2.173>.
- Estévez, A.T. (2020). Sustainable Living? Biodigital Future! En Jacqueline A. Stagner, David S-K. Ting (eds.), *Sustaining Resources for Tomorrow*. Berlín: Springer Nature.
- Estévez, A.T. (2020). The Fifth Element: Biodigital & Genetics. En Ahmad Vassel BeHagh, Davis S. K. Ting (eds.), *Environmental Management of Air, Water, Agriculture, and Energy*. Florida: CRC Press / Taylor & Francis Group.
- Estévez, A.T. & Abdallah, Y.K. (2022). *AI to MATTER-REALITY: Art, Architecture & Design*. Barcelona: iBAG-UIC Barcelona.
- Gruber, P. & Imhof, B. (2017). Patterns of Growth - Biomimetics and Architectural Design. *Buildings*. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/buildings7020032>.

- Horstmann, S.W., Lynch, K.M. & Arendt, E.K. (2017). Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products. *Food*. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/foods6040029>.
- Hou, X. *et al.* (2023, Febrero 15). Recent advances of antibacterial starch-based materials. *Carbohydrate Polymers*. *ScienceDirect*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120392>.
- Ibrahim, M.I.J. *et al.* (2020, Febrero). *Extraction, Chemical Composition, and Characterization of the Potential Lignocellulosic Biomasses and Polymers from Corn Plant Parts*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.15376/biores.14.3.6485-6500>.
- Jiang, T. (2019, Noviembre). Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.003>.
- Krishna, V., Hussain, S., Kiran, C.H., Kumar, K. (2021, Febrero 23). Experimental evaluation of impact energy on Oobleck material (non-Newtonian fluid). *Materials Today: Proceedings*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1112>.
- Lima, E.A., Dutra R.S., Souza P.V.S. (2020, Marzo). *Studying the Oobleck with video-analysis*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/341708695>.
- Mohamed, A.B., Gawad A.A. (2021, Abril). *Experimental Study of Non-Newtonian Fluid Behavior by Utilizing Drop Test for Medical Applications*. Recuperado de <https://dl.acm.org/doi/10.13140/RG.2.2.14886.24643>.
- Revathi, S., Kumar, A.S. (2020, Marzo). Application of Oobleck as a Speed Breaker. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*.
- Oxman, N. (2010 *Material-based Design Computation*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology (MIT).
- Pasquero, C., Poletto, M. (2015). *Algae Folly v2.0*. Recuperado de <https://www.ecologicstudio.com/projects/expo-milano-2015-urban-algae-folly>.
- Pohl, I., Loke, L. (2012, Noviembre). *Engaging the sense of touch in interactive architecture*. Recuperado de <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2414536.2414611>.
- Veeger, M., Prieto, A., Ottelé, M. (2021). Exploring the Possibility of Using Bioreceptive Concrete in Building Façades. *Journal of Facade Design and Engineering*. Recuperado de <https://doi.org/10.7480/jfde.2021.1.5527>.
- Yumbla, F. *et al.* (2023, Abril). *OobSoft Gripper: A Reconfigurable Soft Gripper Using Oobleck for Versatile and Delicate Grasping*. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/RoboSoft54090.2022.9762097>.

Abstract: The current environmental deterioration has prompted the design of eco-friendly materials from sustainable and renewable resources to overcome current environmental problems, including organic waste and increasing carbon dioxide emissions. Subsequently, the production of sustainable materials from abundant biopolymers, such as starch, has attracted the interest of researchers from various disciplines. Starch is a natural polymer, meaning that it is created by the cells of living organisms (Yumbla, F. *et al.*, 2023). It is extracted from various sources, such as maize: one of the most prevalent sources of plant

residues and a vital source of plant residues (Ibrahim, M.I.J. *et al.*, 2020). The present study aims to analyse and demonstrate the distinguished properties of non-Newtonian starch-based materials, specifically the mixture of corn starch and water, which form a biodegradable, non-toxic and cost-effective example of a non-Newtonian fluid known as “Oobleck”, in order to introduce it as a sustainable architectural material. Due to its unique qualities, it can mimic the properties of both a solid and a liquid, depending on the amount of force applied. This unusual behaviour causes its viscosity to change with the rate of applied load. Accordingly, this paper will present a literature review on the chemical basis and the physical and mechanical properties of starch-based non-Newtonian material, supported by its successful applications that highlight the distinctive properties of such material. In this context, these lines are part of an ongoing research on the improvement of physical and mechanical properties of starch-based non-Newtonian materials investigated for use in architectural applications.

Keywords: Natural polymer - Non Newtonian fluid - Material properties - Material behaviour

Resumo: A atual deterioração ambiental motivou o desenvolvimento de materiais ecologicamente corretos a partir de recursos sustentáveis e renováveis para superar os atuais problemas ambientais, incluindo resíduos orgânicos e o aumento das emissões de dióxido de carbono. Posteriormente, a produção de materiais sustentáveis a partir de biopolímeros abundantes, como o amido, atraiu o interesse de pesquisadores de várias disciplinas. O amido é um polímero natural, o que significa que ele é criado pelas células de organismos vivos (Yumbla, F. *et al.*, 2023). Ele é extraído de várias fontes, como o milho: uma das fontes mais predominantes de resíduos vegetais e uma fonte vital de resíduos vegetais (Ibrahim, M.I.J. *et al.*, 2020). O presente estudo tem como objetivo analisar e demonstrar as propriedades diferenciadas de materiais não newtonianos à base de amido, especificamente a mistura de amido de milho e água, que formam um exemplo biodegradável, não tóxico e econômico de um fluido não newtoniano conhecido como “Oobleck”, a fim de apresentá-lo como um material arquitetônico sustentável. Devido às suas qualidades exclusivas, ele pode imitar as propriedades tanto de um sólido quanto de um líquido, dependendo da quantidade de força aplicada. Esse comportamento incomum faz com que sua viscosidade mude de acordo com a taxa de carga aplicada. Dessa forma, este artigo apresentará uma revisão da literatura sobre a base química e as propriedades físicas e mecânicas do material não newtoniano à base de amido, apoiada por suas aplicações bem-sucedidas que destacam as propriedades distintas desse material. Nesse contexto, essas linhas fazem parte de uma pesquisa em andamento sobre a melhoria das propriedades físicas e mecânicas de materiais não newtonianos à base de amido investigados para uso em aplicações arquitetônicas.

Palavras-chave: Polímero natural - Fluido não newtoniano - Propriedades do material - Comportamento do material