

# Nano-concreto



Center for Nanotechnology Education

Versión 062517.2



Este material está basado en trabajo apoyado por la Fundación Nacional de Ciencia bajo la Concesión Número 0802323 y 1204918. **Cualquier opinión, hallazgos, conclusiones o recomendaciones expresadas en este material son las del autor(es) y no necesariamente representan las opiniones de la Fundación Nacional de Ciencias.**



Este trabajo está licenciado por [“Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License”](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

Basado en un trabajo en [www.nano-link.org](http://www.nano-link.org).

## Nano-concreto

### Abstracto

Este módulo le presenta a los estudiantes la nanotecnología, procesos y métodos que están siendo probados por la industria para preparar productos y sistemas cementosos fuertes y livianos. El módulo lleva al estudiante a través del procesamiento de un material (llamado micro pulverización o molienda en polvo) para reducir su tamaño y utilizar el material nuevo (nanopartículas) como agregado para producir un concreto denso, pero a la misma vez, ligero y resistente. Las actividades prácticas incluyen procesar nanopartículas, crear muestras de nano-concreto y muestras para pruebas de fuerza de tensión y durabilidad (dureza).

### Resultados

En este módulo, los estudiantes producen mejoras y cambios observables en las propiedades del concreto (hormigón) utilizando nanotecnologías (emuladas) y nano-procesamiento.

### Prerrequisitos

Este módulo se basa en temas y contenido de ciencias de materiales que se utilizan en “MatEdU National Resource Center for Materials Technology Education”. Se sugiere revisar y/o completar los módulos relacionados de “MatEdU” antes de poner en práctica este módulo sobre el Nano-concreto. El enlace para los módulos de “MatEdU” se encuentra en la sección de recursos multimedia.

### Correlación

#### *Conceptos Científicos*

- Resistencia mecánica de los materiales.
- Tipos de tensión mecánica: tracción (“tensile”) y cizalladura (“shear”).
- La relación entre la tensión y deformación.
- La naturaleza y estructura de la materia.

#### *Conceptos de Nanociencia*

- Sentido de escala (tamaño de las partículas agregadas antes y después del procesamiento).
- Relación área de superficie a volumen (más partículas de cemento tienen contacto con la perlita).
- Prioridad de las fuerzas e interacciones (densidad y acomodo de las partículas, hidratación a menor escala, puentes de hidrógeno e interacciones Van der Waals).
- Las herramientas de la nanociencia (micro pulverizadora, microscopía electrónica de barrido).

## Información de trasfondo

### *Nano-concreto*

El concreto es el material de construcción más utilizado en el planeta; utilizamos 23 billones de toneladas por año mundialmente. Adicional, es un material compuesto (hecho de agregados) por cemento, agua, aire y en ocasiones, aditivos, para otorgarle propiedades especiales. Este material tiene un rol importante en nuestras edificaciones y sistemas de transportación.

#### *¿Por qué explorar la nanotecnología en el concreto?*

El concreto es un material de construcción confiable, duradero y resistente. Por esta razón, este material y otros, a base de cemento, no han cambiado mucho a lo largo de los años. Recientemente, con el descubrimiento de nuevas propiedades exhibidas por los componentes del concreto en la nano-escala y un interés en mejorar las propiedades del material, es que la ciencia que estudia el concreto ha evolucionado.

La nanotecnología tiene el potencial de mejorar las propiedades útiles del concreto, particularmente el grado de hidratación, que afecta la contracción, el agrietamiento y fiabilidad del material. La nanotecnología también se puede aplicar para producir finalmente materiales más delgados y livianos. Adicional, puede ayudar a trabajar con los retos enfrentados por la ciencia que estudia el concreto, como la reducción de la producción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); en el presente, se producen 0.9 toneladas de  $\text{CO}_2$  por cada tonelada de cemento.

Actualmente, las áreas de investigación más activas en la nanotecnología del cemento y el concreto son:

- Comprender la hidratación de las partículas de cemento y el uso de ingredientes de tamaño nanométrico tales como óxido de titanio, sílice y nanotubos de carbono. Agregar nanosensores para monitorear y controlar la hidratación, el tiempo de curado, etc.
- Añadir aditivos, agregados o mezclas (“admixtures”) como cenizas volantes (“fly ash”) y ácido cítrico.
- El concreto eventualmente necesita ser reemplazado. Explorar el uso de la nanotecnología para extender la vida útil y la durabilidad del concreto. Utilizar materiales más livianos mientras se mantienen y mejoran las propiedades del concreto (resistencia a la corrosión, dureza y fuerza).

### *¿Qué es el nano-concreto?*

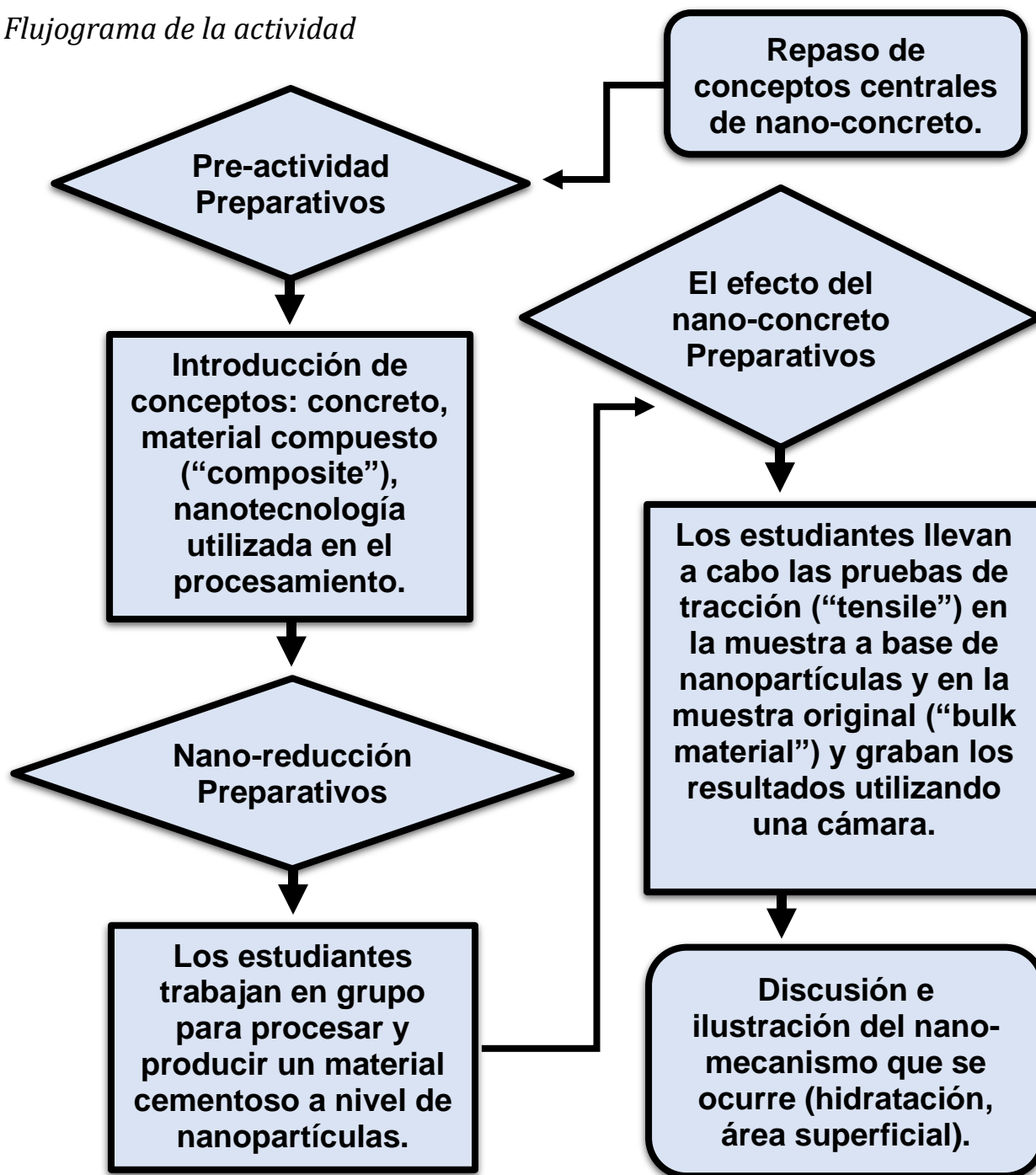
El nano-concreto modifica uno o más de los componentes utilizados en el concreto y/o introduce aditivos o agregados (productos químicos) que pueden alterar y mejorar las propiedades del material. Se pueden hacer modificaciones a cualquiera de los componentes: el agregado, el cemento, contenido de agua o aire con el propósito de mejorar las propiedades físicas y atributos del concreto o producto final.

Actualmente, el cemento se produce con partículas que varían desde aproximadamente 100 micrómetros (aproximadamente el espesor de un cabello humano) hasta partículas finas de aproximadamente unos pocos micrómetros de tamaño. Al procesar los componentes de manera diferente, se puede obtener un concreto hecho con partículas con un tamaño menor a la mitad de un micrómetro (500 nanómetros).

En las mezclas de concreto, la dispersión de partículas más grandes puede ser un problema. Una pobre dispersión puede afectar la resistencia y otras propiedades del concreto. Las nanopartículas solucionan este problema. Además, cuando los materiales se procesan en nanopartículas, aumenta su relación área de superficie a volumen, resultando en mayor reactividad química del material nano-particulado.

## Actividad de aprendizaje: Nano-concreto

### Flujograma de la actividad



### Video de la actividad

El video de la preparación de materiales está disponible en: [www.nano-link.org](http://www.nano-link.org)

## Actividad de aprendizaje: Nano-concreto

### I. Nano-reducción

#### Materiales

Por persona o grupo:

- Perlita
- Perlita molida
- 6 moldes
- 2 vasos de precipitado o de laboratorio
- Cuchara para medir (cucharada)
- 2 agitadores
- 2 tazas para mezclar o cubos de mezcla (los recipientes transparentes funcionan mejor)
- Aceite de cocina en aerosol o aerosol comercial (para remover las muestras curadas de los moldes luego)
- Balanza digital: de mesa, como la balanza de cocina o para alimentos.
- Regla
- Guantes de látex
- Gafas de seguridad
- Delantal

#### Equipo de seguridad

- El cemento es un producto alcalino. Se debe evitar el contacto entre el cemento y la piel lo más posible. De ocurrir contacto o si el líquido salpica accidentalmente y cae en los ojos, debe lavarse con agua limpia. Hay que lavarse las manos luego de usar cemento, antes de comer o al tener el contacto entre las manos y la boca. Si accidentalmente el líquido se traga, hay que buscar atención médica de inmediato.

## Procedimiento

1. Sigue estos pasos para producir 2 mezclas de concreto con proporciones (“ratio”) de 6: 4: 4.
  - Mide y combina los componentes secos primero.
  - Mide y agrega el agua.
  - Verifica la caída (“slump”) y el flujo.

Concreto original	Concreto a base de nano-partículas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 partes de Perlita original</li> <li>• 4 partes de agua</li> <li>• 4 partes de cemento “Portland”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 partes de Perlita micro molida</li> <li>• 4 partes de agua</li> <li>• 4 partes de cemento “Portland”</li> </ul>
NOTA: En ambas mezclas de concreto se debe añadir suficiente agua para obtener una fluidez apropiada.	

2. Repite dos veces más el proceso para crear un total de 3 muestra de cada tipo de cemento por persona o grupo.
3. Los materiales son bastante diferentes visualmente. Haz comparaciones en términos de tamaño del material, masa vs. volumen, etc.
4. Vierte las mezclas en los moldes hasta que estén completamente llenos. No debe haber o debe queda muy poco material en el recipiente o envase de mezcla.
5. Golpea sobre la mesa las muestras que están en los moldes para permitir que escapen las burbujas de aire (esto se conoce como vibración).
6. Dado que el tiempo de curado afecta la resistencia, mantén la consistencia entre las muestras antes de la prueba. Como regla general el periodo de curado es de cinco a seis días. Las muestras pequeñas se curan bastante rápido. Luego de seis días, las muestras pueden agrietarse y fracturarse.
7. OPCIONAL: Revisa periódicamente y compara la hidratación de la muestra utilizando uno de los métodos descritos en el módulo de “MatEdU” a través del enlace disponible en la sección de Recursos multimedia.

## Observaciones y anotaciones

1. Compara las mezclas usando Perlita (original) versus la Perlita micro molida durante la preparación de las muestras.
  - Calcula la densidad (masa/volumen) de cada muestra, midiendo su masa con una balanza y calculando el volumen midiendo su largo, ancho y altura ( $V = l * a * a$ ).
  - Observa cómo las dos mezclas se comportan de manera diferente:
    - Cómo trabaja una mezcla de concreto se define por su capacidad para ser colocada y compactada sin “sangrado” o segregación de los componentes. Entonces, ¿cómo se comparan ambas mezclas en este aspecto?
    - La viscosidad se define como la resistencia que tiene un fluido a fluir. Entonces, ¿cómo se comparan ambas mezclas en este aspecto?
  - Mientras golpeas el molde sobre la mesa, toma nota de la aparición y desaparición de burbujas de aire. Debes observar menos burbujas de aire en la muestra de Perlita micro molida; esto es debido al mejor acomodo o empaque de partículas en los componentes a escala más pequeña.
2. Compara las mezclas durante el curado.
  - Observa la cantidad de agua que se acumula en la parte superior del molde. ¿Cómo se comparan las diferentes mezclas en su capacidad para retener agua?
  - Compara entre las dos mezclas las grietas o segregación de los agregados (donde el agregado grande “flota” o se suspende en la parte superior del concreto).



## II. El efecto del nano-concreto

### Materiales

- Muestras curadas
- “Paracord” de 550 libras (atado o amarrado a un tirador “sling”)
- Escalera o dos mesas
- Balanza y báscula digital, dos tipos:
  - De mesa, como la balanza de cocina o para alimentos.
  - Báscula de peso colgante, como la báscula de equipaje o pesca. En el desarrollo de este módulo se utilizó “The Berkley 50lb Fish Scale”.
- Cámara digital capaz de grabar con velocidad de 60 FPS.
- Un trípode de cámara o una mesa para estabilizar la cámara.
- Computadora con programado de reproducción de video como “QuickTime” o “Media Player”.
- Guantes de látex y gafas de seguridad. NOTA: La protección de las manos es importante. Se recomienda utilizar guantes de cuero o de trabajo sobre los guantes de látex.

### Equipo de seguridad

- Se requiere gafas de seguridad para la prueba de tensión, ya que las muestras se romperán abruptamente. Dependiendo de la edad y la capacidad de los estudiantes, el instructor puede tomar la decisión de realizar él mismo la prueba de tensión sugerida. Se pueden utilizar escenarios diferentes donde se realicen las pruebas de tensión-deformación. Consulte el módulo de “MatEdU” a través del enlace que se encuentra en la sección de Recursos multimedia.

### Procedimiento

1. Remueve las muestras de nano-concreto de los moldes.
2. Mide y anota la masa de las muestras curadas antes de realizar las pruebas.
3. Es necesario grabar en video las pruebas. Se pueden utilizar teléfonos inteligentes con capacidad de video si la velocidad de grabación del teléfono es de al menos 60 fotogramas por segundo (FPS); menos de 60 FPS produce resultados entrecortados y dificulta la lectura en la báscula.

4. Sigue el procedimiento básico para las pruebas de tracción:
  - a. Monta una base (se utilizó la escalera).
  - b. Monta la cámara en un trípode o estabilizador.
  - c. Construye un tirador usando el “Paracord” de prueba de 550 lb.
  - d. Asegura o cincha el tirador alrededor de la muestra.
  - e. Equilibra la muestra entre dos escalones que estén al mismo nivel, lado a lado, en la escalera.
  - f. Cuelga la báscula del tirador. NOTA: Si se utiliza la báscula de pesca, se cuelga boca abajo.
  - g. Enfoca la cámara directamente en la pantalla de lectura de la báscula.
  - h. Comienza a tirar del gancho en la báscula hasta que la muestra falle (se rompa). NOTA: Esto será abrupto.
5. Utiliza un programado de reproducción de video como “QuickTime” o “MS Media Player” para observar cada parte y capturar la lectura en la báscula en el punto de ruptura / falla.
6. Discute los resultados.

## Preguntas de discusión

Estas preguntas podrían utilizarse como evaluación informal de la comprensión del material (sobre los objetivos del módulo) en cualquier momento durante la instrucción, escrita o verbal. De acuerdo a los temas trabajados, se pueden realizar cambios a las preguntas, según sea necesario.

1. ¿Qué áreas de la nanotecnología están beneficiando a la ciencia de la producción de concreto? ¿Cómo la benefician?
2. ¿Cuál de los siguientes podría utilizarse para describir un nanocompuesto? (Circula la letra de todo lo que aplique)
  - a. Ligero
  - b. Fuerte
  - c. Dimensiones en el rango de 1,000 nm o menos
  - d. Matricial (“matrixed”)
3. Describe la nanotecnología utilizada para reducir el tamaño de los componentes del concreto de escala milimétrica a nanométrica.

4. ¿Qué influye en la resistencia y durabilidad del nanocompuesto final producido a base de concreto? (Circula la letra de todo lo que aplique)
  - a. Proporción de la mezcla
  - b. Control de la hidratación
  - c. Periodo de curado
  - d. Tamaño, forma y calidad del agregado
5. Explica cómo las nanopartículas afectan las propiedades de los sistemas basados en concreto.
6. Convierte las siguientes medidas a nanómetros:
  - a. 2.92 mm
  - b. 23.4  $\mu\text{m}$

### Respuestas

1. ¿Qué áreas de la nanotecnología están beneficiando a la ciencia de la producción de concreto? ¿Cómo la benefician?

*Las respuestas pueden variar. Los conceptos destacados fueron introducidos y demostrados en las actividades del módulo.*

- Comprensión de la **hidratación de las partículas de cemento** y el uso de ingredientes de tamaño nanométrico como óxido de titanio, sílice, nanotubos de carbono y nanosensores para monitorear y controlar la hidratación, el tiempo de curado, etc. Los beneficios incluyen un producto más duradero / confiable.
- Súper aditivos: Aditivos (cenizas volantes, ácido cítrico) para reemplazar el cemento y reducir el impacto ambiental.
- Concreto autocurativo. Se está explorando el uso de la nanotecnología para extender la vida útil y la durabilidad del concreto.
- **Usar material más ligero / más pequeño**, mientras se mantienen o mejoran las propiedades del concreto (dureza y resistencia). El beneficio es una variedad de aplicaciones y mejoras en los métodos de construcción.

2. ¿Cuál de los siguientes podría utilizarse para describir un nanocompuesto? (Circula la letra de todo lo que aplique)

- e. Ligero
- f. Fuerte
- g. Dimensiones en el rango de 1,000 nm o menos
- h. Matricial (“matrixed”)

*Las respuestas son a, b y d.*

3. Describe la nanotecnología utilizada para reducir el tamaño de los componentes del concreto de escala milimétrica a nanométrica.

*La respuesta debe incluir: la trituración o molienda de los materiales para reducir sus componentes a partículas en la nano escala (100nm o menor).*

4. ¿Qué influye en la resistencia y durabilidad del nanocompuesto final producido a base de concreto? (Circula la letra de todo lo que aplique)
- Proporción de la mezcla
  - Control de la hidratación
  - Periodo de curado
  - Tamaño, forma y calidad del agregado

*Las respuestas son a, b, c y d.*

5. Explica cómo las nanopartículas afectan las propiedades de los sistemas basados en concreto.

*Las respuestas deben de incluir lo siguiente:*

- Aumento en la viscosidad, mejor capacidad de trabajo.*
- Material más liviano, pero más denso y duradero.*
- Mayor cantidad de partículas disponibles para la reacción, mejora la resistencia.*
- Como relleno, llenar los espacios vacíos que pueden afectar la resistencia y calidad del material (área de superficie/volumen).*

NOTA: Puede incluirse mayor información, todo depende de la profundidad con la que se desee explorar los conceptos. Ej.: producción de CO<sub>2</sub>, uso reducido de recursos, mejor dispersión de partículas, química de hidratación, tiempo de curado, etc.

6. Convierte las siguientes medidas a nanómetros:

b. 2.92 mm

b. 23.4  $\mu$ m

*Respuestas: 2,920,000nm and 23,400nm*

NOTA: estos son los tamaños de partícula de los ejemplos de Perlita y nano Perlita en el módulo y en la presentación de Nano-concreto, sección de Análisis y Conclusiones y en la imagen del SEM. Es importante tener en cuenta que, aunque la reducción del tamaño de partícula después de la molienda aún no es del tamaño "nano", es decir, 100 nm o menor, el tamaño se redujo significativamente y el resultado fue un polvo de partículas que podría usarse en un compuesto ligero y fuerte.

## Usos presentes y aplicaciones futuras

Actualmente, las áreas de investigación más activas en la nanotecnología del cemento y el concreto son:

- Comprender la hidratación de las partículas de cemento y el uso de ingredientes de tamaño nanométrico tales como óxido de titanio, sílice y nanotubos de carbono.
- Agregar nanosensores para monitorear y controlar la hidratación, el tiempo de curado, etc.
- Añadir aditivos, agregados o mezclas como cenizas volantes y ácido cítrico.
- Explorar la nanotecnología para extender la vida útil y la durabilidad del concreto.
- Utilizar materiales más livianos mientras se mantienen y mejoran las propiedades del concreto como la resistencia a la corrosión, dureza y fuerza.

## Recursos multimedia

### Videos

- Video de la preparación de materiales y el procedimiento disponible en: [www.nano-link.org](http://www.nano-link.org)
- [www.youtube.com/watch?v=TLW2FTbfiNs](http://www.youtube.com/watch?v=TLW2FTbfiNs)
- [www.youtube.com/watch?v=p9WqCUzz6tc](http://www.youtube.com/watch?v=p9WqCUzz6tc)
- [www.youtube.com/watch?v=a0qlNbK2WkY](http://www.youtube.com/watch?v=a0qlNbK2WkY) (sólo 20 segundos)

### Simulación

- “NSF Hydration of Cement”  
Sitio web: [archive.org/details/gov.fhwa.ttp.vh-438](http://archive.org/details/gov.fhwa.ttp.vh-438)

### Artículos

- Módulos relacionados de “MatEdU” en: <https://scout.wisc.edu/mated/index.php?P=BrowseResources&ParentId=186>
- “Transportation Research Circular” (2012). “Nanotechnology in concrete materials.”  
Búsqueda por título en: [www.national-academies.org](http://www.national-academies.org)
- Kumar, R.; Mathur, R.; Mishra, A.K. (2011). “Opportunities & challenges for use of nanotechnology in cement-based materials.”  
Sitio web: [www.nbmcw.com/articles/miscellaneous/others/25054-use-of-nanotechnology-in-cementbased-materials.html](http://www.nbmcw.com/articles/miscellaneous/others/25054-use-of-nanotechnology-in-cementbased-materials.html)
- Sahraeian, R.; Hashemi, S.A.; Esfandeh, M.; Ghasemi, I. (2012). “Preparation of nanocomposites based on Perlite.”  
Sitio web: [business.highbeam.com/436123/article-1G1-297137922/preparation-nanocomposites-basedldpeperlite-mechanical](http://business.highbeam.com/436123/article-1G1-297137922/preparation-nanocomposites-basedldpeperlite-mechanical)

## Reconocimientos

- Kim Grady de “Behave Heuristics LLC”, Phoenix AZ.
- Dr. James Marti de “University of Minnesota”, Minneapolis, MN.
- Deb Newberry de “Dakota County Technical College”, Rosemount, MN.
- Traducido al español por Rodfal A. Rodríguez y María T. Rivera de Cupey María Montessori School, San Juan, PR.