



**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**  
**Escuela Politécnica Superior de Zamora**



## MEMORIA

**Proyecto de Innovación Docente ID2018/063**

**DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE MATERIALES  
DIDÁCTICOS PRÁCTICOS PARA FACILITAR EL  
APROVECHAMIENTO DE ÁRIDOS RECICLADOS  
PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN  
Y DEMOLICIÓN (RCD'S) MEDIANTE SU EMPLEO EN  
OBRAS PÚBLICAS Y EDIFICACIÓN**

**COORDINADOR**

**Evelio Teijón López-Zuazo**

**Área de Ingeniería de la Construcción**

**Salamanca, 2019**



# ÍNDICE GENERAL

## EQUIPO DE TRABAJO

## RESUMEN

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS	
1.1.1. Objetivo principal .....	2
1.1.2. Objetivos específicos .....	2
1.2. ESTRUCTURA DEL TRABAJO .....	3
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	
2.1. INTRODUCCIÓN .....	7
2.2. MARCO TEÓRICO .....	8
2.3. ANTECEDENTES .....	10
<b>3. MATERIALES</b>	
3.1. INTRODUCCIÓN .....	13
3.2. ZAHORRA ARTIFICIAL RECICLADA DE HORMIGÓN .....	15
3.2. ZAHORRA ARTIFICIAL RECICLADA MIXTA .....	15
<b>4 METODOLOGÍA</b>	
4.1. INTRODUCCIÓN .....	16
4.2. TRATAMIENTO DE LOS CONTENIDOS .....	20
4.3. ACTIVIDADES TIPO .....	25
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>29</b>

## EQUIPO DE TRABAJO

Este proyecto ha sido financiado como proyecto de innovación y mejora docente, conforme a la Convocatoria de ayudas 2018/2019 de la Universidad de Salamanca a este tipo de proyectos, siendo desarrollado por profesores del Área de Ingeniería de la Construcción de la Escuela Politécnica de Zamora. El proyecto cuenta con la participación de la empresa NOVAPROSA, SL como propietaria de la Planta de Reciclaje “Matacán” en Calvarrasa de Abajo y del Grupo de Caminos Santander, perteneciente a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria.

El equipo de trabajo lo componen por tanto las siguientes instituciones y personas:

- Área de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Salamanca
  - Profesor Dr. Evelio Teijón López-Zuazo. Coordinador del Proyecto.
  - Profesor Ángel Robles Miguel.
  - José Ángel Alonso Llamas. Técnico Especialista de Laboratorio.
- Grupo de Caminos Santander de la Universidad de Cantabria.
  - Profesor Dr. Ángel Vega Zamanillo.
  - Profesor Dr. Miguel Ángel Calzada Pérez.
- NOVAPROSA SL
  - Julio Ejido Sánchez.

## RESUMEN

En los últimos años, dentro del desarrollo de tecnologías que faciliten la disminución de la huella de carbono en el sector de la edificación y obra pública, se ha potenciado el empleo de áridos procedentes de plantas de residuos de construcción y demolición (RCD).

Por tanto, la aplicación de áridos reciclados para la construcción sostenible de infraestructuras viarias pasa por divulgar la valorización de los mismos para su empleo en Obra Civil y edificación.

Incrementar la percepción social de este problema requiere un esfuerzo comunicador, pero también un esfuerzo educativo, para que la sociedad comprenda la labor de Ingeniería efectuada detrás del trabajo investigador sobre este fenómeno de reaprovechamiento de los recursos naturales minimizando por tanto sus impactos. En las obras de Ingeniería, el coste económico va siempre asociado al social.

Por tanto, deben fijarse en las aulas de los grados de Ingeniería Civil y Arquitectura Técnica las políticas necesarias para que la sensibilización sobre el aprovechamiento de RCD's sea efectiva, poniendo a disposición de los alumnos las herramientas necesarias para el aprovechamiento de estos residuos, formando a los alumnos para tomar decisiones en el futuro que afecten al desarrollo de futuros proyectos constructivos.



**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUCCIÓN**

---





## 1. INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible, en el sentido de aprovechamiento de los recursos disponibles, se enmarca dentro de los objetivos del milenio 2020 de la Organización de Naciones Unidas en el sentido de disminución de la huella de carbono.

El elevado impacto en el medio natural de los tradicionales sistemas extractivos, además de los elevados costes económicos y sociales que supone las necesidades de grandes instalaciones industriales acompañadas de equipos de maquinaria pesada, aconsejan potenciar la investigación en materiales de construcción desde el punto de vista de la reutilización una vez finalizada la vida útil de un edificio o infraestructura.

La sustitución por áridos reciclados de los tradicionalmente naturales supone, por tanto, no sólo la puesta en valor de un subproducto destinado a vertedero, sino la eliminación de graves impactos al medio natural como son canteras o graveras, con una grave alteración paisajística, contaminación atmosférica y en cualquier caso emplazadas en zonas ambientalmente tan sensibles como son las riberas fluviales o zonas de montaña, mayoritariamente protegidas.

Debe destacarse que los áridos procedentes de RCD presentan importantes diferencias en sus características físicas, químicas y mecánicas respecto de los áridos naturales, lo cual no debe suponer un inconveniente si se diseñan con las adecuadas características estructurales y funcionales, máxime con las grandes ventajas ambientales que producen al minimizar impactos.

El presente trabajo presenta un proyecto educativo desde la disciplina de Materiales de Construcción, para que los alumnos a partir del 2º curso del Grado en Ingeniería Civil se conciencien de la necesidad del aprovechamiento de recursos y generen actitudes positivas para ejercitar la toma de soluciones que con urgencia se requieren en cuanto a la valorización de los subproductos de la actividad humana como materiales aprovechables.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo principal

Desarrollar un marco de trabajo que permita la evaluación de los conocimientos, habilidades y concienciación de los alumnos referidos al uso de materiales reciclados de RCD.

Establecido el marco de trabajo, debe estudiarse cual es la mejor estrategia educativa, contenidos y actividades que promuevan el empleo en proyectos y obras de Ingeniería Civil y Edificación.



### 1.1.2. Objetivos específicos

Se plantean como objetivos específicos de esta investigación:

- Los contenidos clave a incluir en el currículo de Materiales de Construcción para que los estudiantes tengan los conocimientos previos necesarios para entender las características particulares de los áridos RCD.
- Actividades que fomenten la motivación y el interés en alumnos por el uso de materiales reciclados en diferentes unidades de obra.
- Como usar el reciclaje de materiales para reforzar la enseñanza de la asignatura Materiales de Construcción.
- Diseñar un plan de acción para el empleo de áridos reciclados, abarcando el proceso de toma de muestras identificativas, procesando posteriormente mediante prácticas de laboratorio cuanta información sea posible, a efectos caracterizar mecánicamente, por su composición y propiedades físico – químicas a efectos de diseñar el Anejo de firmes de un proyecto constructivo según el tipo de tráfico en carreteras, carriles – bici, etc.

## 1.2. ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE

En el Capítulo 1, se plantea la problemática generada por la sobreexplotación de recursos naturales y el empleo de áridos reciclados como problema crítico y su necesidad de inserción en el currículo educativo del Grado en Ingeniería Civil.

En el Capítulo 2, Estado del Arte, se efectuó una investigación bibliográfica que revisara el estado actual del problema a nivel internacional y en nuestro país. Se realizó un resumen de los distintos trabajos, publicaciones bibliográficas y normativas editadas, proporcionando una información importante para caracterizar el objeto de estudio y justificándose a través de ellas la necesidad de establecer una nueva metodología educativa.

En el Capítulo 3, Materiales, se caracterizan casos reales de desarrollo de la metodología, estudiándose el caso concreto de la Planta de Reciclaje “El Terraplén” en el TM de Calvarrasa de Abajo (Salamanca).

En el Capítulo 4, Metodología, recoge la revisión de los procedimientos de trabajo, toma de muestras y ensayos de laboratorio propuestos y efectuados.



En el Capítulo 5, Resultados, se efectúa un análisis y conclusiones de la aplicación práctica del proyecto, presentando los resultados obtenidos con los planteamientos necesarios para el cambio de percepción del problema desde la equivalencia de entre áridos naturales y reciclados, además de actividades realistas como el diseño y construcción de distintas capas de firmes de obras viarias.

En el Capítulo 6, Conclusiones se sintetizan las principales conclusiones de este trabajo.

En el Capítulo 7 Futuras líneas de investigación se proponen unas sugerencias referentes a las futuras líneas de desarrollo y aplicación.

En Bibliografía se recogen las referencias consultadas para llevar a cabo esta investigación.

## CAPÍTULO 2

# ESTADO DEL ARTE

---



## 2.1. INTRODUCCIÓN

Es necesario transmitir a los alumnos como futuros profesionales los retos y oportunidades que se desarrollan en torno al reciclaje de materiales debidas a las cada vez mayores fuentes de financiación que obligatoriamente aparecerán a efectos de mitigar los inevitables daños por la sobreexplotación de recursos naturales y por tanto limitados.



Entre las acciones correctoras buscando la reducción de la huella de carbono, en primer orden aparece el desarrollo de las infraestructuras con materiales sostenibles: de transporte, de contención, energéticas, de adaptación del litoral, etc.

Por tanto, la inserción de los materiales reciclados, con menor impacto ambiental que los extraídos en graveras fluviales o canteras a cielo abierto, en las clases magistrales y clases prácticas con los alumnos, garantiza que los futuros profesionales de la Ingeniería y Arquitectura queden comprometidos con un modelo de construcción ambientalmente sostenible, adquiriendo los fundamentos técnicos necesarios para su utilización.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

El Catálogo de firmes y unidades de obra con áridos reciclados de Residuos de Construcción y Demolición [1] de la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía (2016), financiado a través del Programa Operativo FEDER, indica como las normativas de firme españolas no contemplan el uso de áridos reciclados, dejando al Proyectista y a la Dirección de Obra toda la responsabilidad sobre el uso de estos materiales.

Por tanto, falta una normativa técnica específica que determine las distintas calidades que pueden obtenerse de una procedencia tan heterogénea y dimensionen en el sentido de facilitar el uso alternativo a los materiales utilizados tradicionalmente que están sancionados desde su empleo con una gran experiencia.

El ámbito de aplicación sería en las capas de firme de infraestructuras del transporte, así como en caminos y vías verdes. Este uso alternativo a la extracción de áridos naturales, puede asociarse a otras obras relacionadas con el desarrollo de estilos de vida saludables como son carriles bici, aceras y vías peatonales. También lo resulta el empleo en otras zonas necesarias para la protección de avenidas y otras estructuras como son las obras de drenaje, los hormigones de limpieza y los hormigones estructurales.

### 2.3. ANTECEDENTES

La guía para la utilización del árido reciclado y recomendaciones para su compra [2] de la Agrupación Empresarial Innovadora para la Construcción Eficiente (2018), comenta la utilización de materiales procedentes de RCD en obras del municipio de Valladolid, indica la necesidad de desarrollar una economía circular que permita poner en valor los recursos naturales, reciclar y valorizar los productos de construcción.





## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIALES**

---



### 3. MATERIALES

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

A pesar de la heterogeneidad del RCD, por su propia naturaleza, a efectos de clasificar el residuo para sus posteriores aplicaciones debe separarse en las siguientes fracciones:

- Fracción pétreo: hormigón, gravas, rocas ornamentales y materiales cerámicos (ladrillos, tejas, bovedillas).
- Fracción no pétreo: madera, metales (acero, cobre), vidrio, polímeros.
- Excavación de suelos y tierra vegetal.
- Resto de fracciones sin clasificar (aislantes, otros).



Si bien debe procurarse evitar rechazos a vertederos controlados, el proyecto se ha centrado en el aprovechamiento de zahorras artificiales recicladas de hormigón y mixtas de RCD, básicamente procedentes del machaqueo de la fracción pétreo diferente al hormigón.

Los áridos empleados en construcción deben cumplir los requisitos recogidos en la norma UNE EN 13242:2003+A1:2008 [3].

Los ensayos de caracterización de las zahorras artificiales deben incluir los siguientes fueron:

- Contenido de materia orgánica de suelos UNE 103 204 [4].
- Resistencia a la fragmentación (desgaste de Los Ángeles) UNE-EN 1097-2 [5].
- Contenido en sales solubles en suelos UNE 103 205 [6].
- Límite líquido, límite plástico. UNE 103 103 [7], UNE 103 104 [8].
- Ensayo de compactación Proctor Modificado. UNE 13 500 [9], UNE 103 501 [10].

### 3.2. ZAHORRA ARTIFICIAL RECICLADA DE HORMIGÓN

Es la constituida expresamente por trituración de residuos de hormigón.

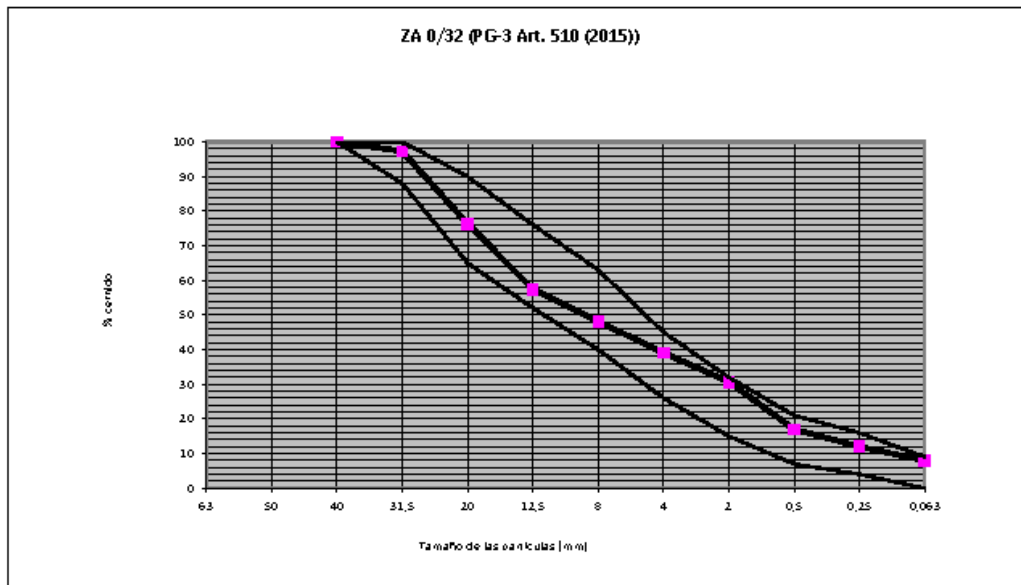


El material debe de caracterizarse conforme al análisis granulométrico según norma UNE-EN-933-1 [11]. Resulta determinante efectuar la toma de muestras de manera que sea lo más representativa posible, evitando segregaciones o migraciones de finos. Especialmente deberán enseñarse al alumno a tomar precauciones en acopios de material, procediéndose previamente a la homogeneización de la muestra mediante el volteo con pala cargadora y el posterior pase por cuarteadoras en el laboratorio.



Se adjunta a continuación ensayos de laboratorio efectuados en la zavorra reciclada de hormigón. La curva granulométrica del material queda encajada en el huso de la zavorra artificial ZA 0/32, conforme a las especificaciones recogidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para la Construcción de Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

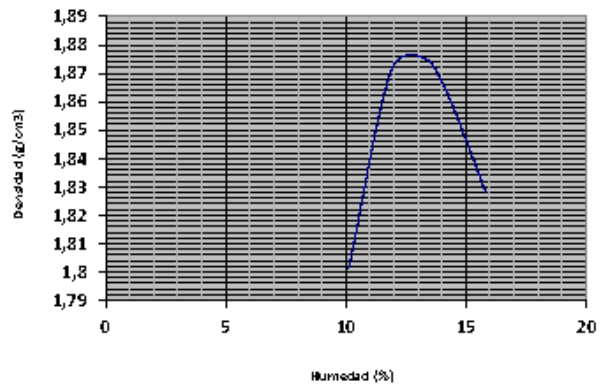




Granulometría de los suelos/áridos (UNE 103101/UNE-EN 933-1)														
Tamiz UNE (mm)									200	150	125	100	80	63
% Cernido														
Tamiz UNE (mm)	56	50	40	31.5	25	22.4	20	16	14	12.5	11.2	10	8	6.3
% Cernido			100	97.3			76.3			57.5			48.1	
Tamiz UNE (mm)	5.6	5	4	3.15	2	1.25	1	0.5	0.4	0.25	0.16	0.125	0.08	0.063
% Cernido			39.1		30.7			17.0		12.0				8.0

ENSAYOS REALIZADOS			
Ensayo realizado	Normativa	Resultado	Unidades
Contenido de materia orgánica en suelos	UNE 103204	<b>0,14</b>	%
Resistencia a la fragmentación (desgaste de Los Ángeles)	UNE-EN 1097-2	<b>45,7</b>	%
Contenido de sales solubles en suelos	UNE 103205	<b>1,1</b>	%
Límites de Atterberg			
- Límite líquido	UNE 103103	-	
- Límite plástico	UNE 103104	-	
- Índice de plasticidad		<b>No plástico</b>	

Ensayo Proctor (UNE 103500 y UNE 103501)	
Tipo de ensayo	<b>Modificado</b>
Material sustituido > 20 mm	<b>SI</b>
Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1,878</b>
Humedad óptima (%)	<b>12,70</b>



### 3.2. ZAHORRA ARTIFICIAL RECICLADA MIXTA

Es la constituida expresamente por trituración de piezas para fábricas de albañilería cerámicas o de silicato de calcio.



**CAPÍTULO 4**  
**METODOLOGÍA**

---



#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

Es necesario hacer una evaluación general de los conocimientos, habilidades y concienciación de La utilización de residuos reciclados como materiales de construcción, tanto al comienzo del curso como al final.

Posibles tareas iniciales serían cuestionario tipo test para medir el conocimiento de conceptos generales, un problema abierto con datos reales para medir sus destrezas, y una redacción libre para ver el grado de implicación del alumnado en este tema.

Durante el curso se plantearán diversas actividades relacionadas con el empleo de materiales reciclados en las obras públicas; cada una de ellas debe ir acompañada de los contenidos técnicos necesarios para realizarla. En cada actividad hay que evaluar tanto los contenidos como el éxito a la hora de realizar la actividad. Es importante que en estas actividades el objetivo no es reproducir mecánicamente las características de los materiales; si no que deben tratarse de problemas abiertos de diseño y empleo en el que los materiales reciclados juegan un papel importante en la comprensión del problema, pero no tanto en la resolución económica. Una vez recogida la información, se analizará la evolución de los alumnos a lo largo del curso, y como se relaciona el éxito a la hora de adquirir conocimientos de materiales reciclados. Se estudiarán las actividades con mejor acogida entre los alumnos y cuales les han producido un mayor impacto, de cara hacer modificaciones para un estudio más largo.

Si bien tradicionalmente la tarea del profesor consiste en proporcionar de una manera ordenada los contenidos relevantes (aprendizaje por facilitación), se considera más apropiado disponer las condiciones y materiales idóneos para que el alumno adquiera su propio conocimiento (aprendizaje por descubrimiento).

De esta forma, el profesor ofrece al alumno la posibilidad de aplicar los conocimientos con problemas realistas del fenómeno, consolidando así los aprendizajes del aula.

Buscando el intercambio de experiencias y la cooperación entre alumnos se aplica como recurso educativo el trabajo en grupo. Para asegurar el éxito del mismo deben definirse claramente los objetivos y las competencias que pretendemos lograr, y el procedimiento para llevarla a cabo. El profesor debe establecer de manera la composición de los grupos y los plazos de realización de la tarea.

Al desarrollarse las actividades debe valorarse la diversidad en el aula, por lo que es preciso que se prevean distintos niveles de dificultad según la capacidad o interés del alumno.

#### 4.2. TRATAMIENTO DE LOS CONTENIDOS

El tratamiento didáctico del uso de RCD reciclado como materiales de construcción se puede desarrollar secuencialmente:

- 1) Tener claro conceptualmente el concepto de la economía circular (sus causas, repercusiones y respuestas) para poder programar adecuadamente. Los mapas conceptuales son una herramienta que ayuda a ver el fenómeno.
- 2) Conocer y movilizar las ideas previas del alumnado respecto al reciclaje de RCD, para facilitar la construcción de nuevos conocimientos
- 3) Visión general de la necesidad de valoración de los RCD (exposición oral al grupo, audiovisual, conferencia, etc.), que sirva de marco de referencia en el que encuadrar las propuestas que se realicen y las actividades de clase que se desarrollen.
- 4) Realizar actividades que propicien la participación activa del alumnado en la búsqueda de información (libros, prensa, Internet, cuestionarios, entrevistas, etc.), en la realización de prácticas de campo con visita a plantas de reciclaje o en las propuestas de solución al anejo de procedencia de materiales necesario en cualquier proyecto de obra pública.
- 5) Desarrollar fichas prácticas en formato A3 para su incorporación a un proyecto constructivo con las que, partiendo de un análisis y diagnóstico inicial de una planta de reciclaje, permita generar propuestas y fórmulas para reducir de forma real las emisiones de CO<sub>2</sub> en la obra mediante el empleo de RCD reciclado.
- 6) Comunicar los resultados de forma que nos permitan ver que nuestros proyectos (TFG) y nuestras acciones (prácticas de campo, proyectos de investigación) no están aisladas ni pasan desapercibidas a la sociedad a través de la correspondiente divulgación científica.



### 4.3. ACTIVIDADES TIPO

Los modelos de actividades tipo que se plantean a continuación pueden ser incorporadas, con las correspondientes adaptaciones al currículum educativo de forma flexible en los distintos niveles educativos y pretenden, de acuerdo con la orientación actual del currículum, dotar al alumnado de las competencias básicas para utilizar de manera integrada, conocimientos conceptuales, habilidades y actitudes en la comprensión del problema del cambio climático y prepararles para actuar críticamente en su solución:

- Mapas conceptuales del reciclaje y la economía circular en la construcción, con sus ventajas y problemática asociada.
- Debate participativo en el aula sobre la necesidad y empleo de los RCD reciclados.
- Salidas mediante prácticas de campo al medio natural (plantas de reciclaje) y urbano (obras generadoras de RCD).
- Resolución de una tarea realista de aplicación de RCD reciclados como el diseño específico de un Anejo de procedencia de materiales como parte de un Proyecto Constructivo.

#### 4.4. PRÁCTICA DE CAMPO: VISITA A UNA PLANTA DE RECICLAJE

Deberá efectuarse con el alumno el conocimiento práctico del triaje que clasifica las distintas fracciones del RCD y que supone la clasificación previa necesaria para el posterior machaqueo y la obtención del material todo-uno como zahorra artificial.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---



## BIBLIOGRAFÍA

- Barwell, R. (2013). The mathematical formatting of climate change: critical mathematics education and post-normal science. *Research in Mathematics Education*, 15 (1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/14794802.2012.756633> doi:10.1080/14794802.2012.756633
- Herman, B., C., Feldman, A., y Vernaza-Hernandez, V. (2017, 01 de Mar). Florida and Puerto Rico secondary science teachers' knowledge and teaching of climate change science. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15 (3), 451–471. <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9706-6> doi: 10.1007/s10763-015-9706-6
- McCright, A. M., O'Shea, B. W., Sweeder, R. D., Urquhart, G. R., y Zeleke, A. (2013, 14 de Jul). Promoting interdisciplinarity through climate change education. *Nature Climate Change*, 3, 713 EP -. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1844> (Perspective)
- Shea, N. A., Mouza, C., y Drewes, A. (2016, 01 de Apr). Climate change professional development: Design, implementation, and initial outcomes on teacher learning, practice, and student beliefs. *Journal of Science Teacher Education*, 27 (3), 235–258. Descargado de <https://doi.org/10.1007/s10972-016-9456-5> doi: 10.1007/s10972-016-9456-5