

# Reciclaje de Neumáticos Fuera de Uso mediante Estrategias de Economía Circular: Experiencia de Aprendizaje-Servicio en Edificación

## Recycling of End-of-Life Tyres through Circular Economy Strategies: A Service-Learning Experience in Building

Daniel Ferrández<sup>1,3</sup>, Alicia Zaragoza-Benzal<sup>1</sup>, Rafael Marcos-Sánchez<sup>2</sup> & Jose Angel Zuñiga-Vicente<sup>3</sup>  
daniel.fvega@upm.es; alicia.zaragoza@upm.es; rafael.marcos@unir.net; joseangel.zuniga@urjc.es

<sup>1</sup>Dpto. Tecnología de la Edificación  
Universidad Politécnica de Madrid  
Madrid, España

<sup>2</sup>Dpto. Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales  
Universidad Internacional de la Rioja  
Madrid, España

<sup>3</sup>Dpto. Economía de la Empresa (ADO), Economía Aplicada II y Fundamentos Análisis Económico  
Universidad Rey Juan Carlos  
Madrid, España

**Resumen:** El profesorado universitario y los programas académicos tienden a adaptarse a las necesidades sociales que afectan al conjunto de la sociedad. El Aprendizaje-Servicio (ApS) se presenta como una herramienta metodológica que permite cubrir una doble necesidad entre formación académica y servicio a la comunidad. En este trabajo se exponen los fundamentos del ApS para su aplicación en el aula universitaria y se muestra una experiencia real formulada para la E.T.S. de Edificación de Madrid. Con esta experiencia se pretende concienciar al estudiantado acerca de la necesidad de incorporar materias primas recicladas para avanzar hacia una construcción sostenible, explorando nuevas vías de negocio mediante el uso de los Neumáticos Fuera de Uso. Se describe cómo ha sido posible la incorporación de esta metodología en la asignatura de Dirección Estratégica. Los resultados obtenidos de su implementación denotan un alto nivel de satisfacción por parte del alumnado, al tiempo que se desarrolla una experiencia que puede servir de ayuda a otros docentes.

**Palabras clave:** *Aprendizaje-Servicio, Dirección Estratégica, Sostenibilidad, Neumático Fuera de Uso (NFU).*

**Abstract:** University faculty and academic programs tend to adapt to the needs that affect society as a whole. Service-Learning is presented as a facilitating approach that allows covering a double need between academic training and service to the community. This study exposes the foundations of this approach for its application in the classroom and shows a real experience formulated for the E.T.S. de Edificación de Madrid. This is intended to make students aware of the need to incorporate recycled raw materials to move towards sustainable construction, exploring new business avenues through the application of End-of-Life Tires. It is depicted how it has been possible to incorporate this approach into the Strategic Management subject. The results obtained from its implementation shows a high level of satisfaction and motivation among the students while developing a practical experience that can help other teachers.

**Keywords:** *Service-Learning, Strategic Management, Sustainability, End-of-Life Tires (ELTs).*

### 1. INTRODUCCIÓN

La Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), impulsada por la UNESCO, a través de la Agenda 2030, consiste en un proceso de formación continua y búsqueda de una educación de calidad con un enfoque orientado hacia el

cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que permita tomar una mayor conciencia acerca de las necesidades actuales de la sociedad. En este sentido, se plantean cuatro ejes de trabajo fundamentales (UNESCO, 2017):

- Transformación de la sociedad: la búsqueda del logro de los ODS para alcanzar un mundo más sostenible.
- Pedagogía y entorno de aprendizaje: utilización de aprendizajes y metodologías activas basados en proyectos, en el servicio a la comunidad y centrado en el alumnado.
- Contenido del aprendizaje: integrar conceptos como la sostenibilidad, el cambio climático o la economía circular, entre otros.
- Resultados de aprendizaje: empoderar al alumnado en su responsabilidad del presente y futuro para conseguir la transformación de la sociedad.

En este contexto de aprendizaje, las aulas universitarias deben evolucionar y apoyarse en la utilización de metodologías activas que posicionen al alumnado como agente principal del proceso de enseñanza-aprendizaje. Es en este punto donde entra en juego el Aprendizaje-Servicio (ApS) como metodología que posibilita el desarrollo de los contenidos teóricos de las diferentes materias, y su vinculación de servicio a la comunidad a través de una necesidad detectada (Amat y Moliner, 2010).

#### 1.1. Metodología Aprendizaje-Servicio

El ApS destaca como metodología por tener un marcado carácter social. En este sentido, ninguna propuesta educativa que esté relacionada con esta metodología surge sin haber realizado previamente un análisis crítico del entorno y que tome como eje imbricador una necesidad social bien definida. Sin embargo, tal y como destacan Puig et al. (2008), es importante que exista un equilibrio entre la acción social realizada y el contenido académico impartido ya que, de no ser así, se puede llegar a acciones contradictorias que no son consideradas ApS (ver Figura 1). Otro aspecto importante dentro de esta metodología es la colaboración con organizaciones sociales y sin ánimo de lucro, que sean conocedoras de la problemática social abordada, y su aportación permita mejorar la formación del alumnado, aumentando la difusión y alcance de los beneficiarios del servicio propuesto.

18-20 Octubre 2023, Madrid, ESPAÑA

VII Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Cooperación (CINAIC 2023)



**Figura 1.** Aprendizaje-Servicio: dimensiones posibles en base a la polarización de las acciones.

En base a lo anterior, se pueden establecer las siguientes características generales para el ApS (Puig et al., 2008):

- El alumnado participa de manera activa en su aprendizaje, no solo a través de la recepción de conocimientos, sino también en la planificación, implementación y evaluación del proyecto.
- Se desarrollan proyectos prácticos que buscan resolver problemas reales de la comunidad en la que se realiza este; el beneficio será mutuo entre el alumnado y la sociedad.
- Se fomenta la reflexión y el pensamiento crítico cuando el alumnado analiza el impacto del proyecto en la sociedad.
- En general, un proyecto ApS implica varias asignaturas, buscando una visión multidisciplinar y empleando el conocimiento aprendido en varias disciplinas para resolver el problema detectado, lo que enriquece la experiencia.
- Durante el proceso de evaluación se debe valorar tanto el conocimiento y competencias adquiridas, como el impacto social generado a través de la experiencia.
- Se trata de una metodología que busca un compromiso social presente y futuro, para formar personas comprometidas y responsables con la sociedad.

En la actualidad son varias las iniciativas que se han realizado aplicando la metodología ApS en contextos universitarios. A modo de ejemplo, se pueden mencionar por su relación con la edificación los trabajos del profesorado de instalaciones de la E.T.S. de Arquitectura de Madrid, donde el alumnado trabajaba para facilitar auditorías energéticas en edificios de la Comunidad de Madrid con un objetivo de carácter medioambiental (Gallego, García y Bedoya, 2019). También, hay trabajos realizados en otros países, como en la Universidad Católica de Santísima Concepción en Chile, donde el alumnado de Topografía realizó un proyecto de ApS para de mejorar vías públicas, escuelas rurales y miradores (Cea, González y Muñoz, 2015).

En este estudio se presenta una aplicación de la metodología ApS en el Doble Grado de Edificación y Administración y Dirección de Empresas (ADE) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Así pues, se pretende aprovechar los conocimientos adquiridos en la asignatura de Dirección Estratégica para buscar nuevas vías de negocio y aplicación de los NFU en las empresas constructoras. De este modo, esta propuesta se alinea con los objetivos de sostenibilidad y circularidad de los productos de construcción recogidos en el Pacto Verde Europeo.

## 2. CONTEXTO Y DESCRIPCIÓN

Se calcula que hay unos 4.000 millones de NFU en vertederos y almacenes de todo el mundo y se prevé que esta cantidad aumente hasta 5.000 millones para 2030 (Valentini y Pegoretti, 2022). Estos datos alarmantes evidencian la necesidad de buscar nuevas vías de recuperación y revalorización de estos residuos, de forma que sea posible reincorporarlos como materias primas secundarias en el proceso de elaboración de nuevos productos más sostenibles. En caso contrario, su lento proceso de degradación y desechado ilegal tendrán consecuencias nocivas en el largo plazo para los ecosistemas terrestres y marítimos (Li et al, 2023).

Tomando como motivación el escenario descrito a nivel mundial, surge la idea de realizar esta propuesta de innovación docente, que busque mejorar la gestión de los NFU y su aplicación al sector de la edificación. El contexto de aplicación se recoge en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
Contexto de aplicación de la experiencia APS planteada

<b>Centro</b>	E.T.S. de Edificación de Madrid
<b>Titulación</b>	Doble Grado en Edificación y ADE
<b>Asignatura</b>	Dirección Estratégica (6 ECTS)
<b>Curso / Semestre</b>	4º. Curso / 1er. Semestre
<b>Nº. estudiantes</b>	30

Esta propuesta de Aprendizaje Servicio que aporta el 20% de la nota final de la asignatura (es decir, 2 puntos sobre 10), se sustenta en tres momentos claves para su puesta en marcha: preparación inicial, ejecución y análisis/evaluación de su implantación. Estos momentos se desglosan de manera esquemática como sigue, tomando como referencia el texto de Puig, Martín y Batlle (2008, pp. 4-5):

### (a) Preparación

**Etapa 1:** Elaborar el borrador de la propuesta.

- Definir el punto de partida.
- Analizar el conjunto del grupo y sus integrantes.
- Determinar un servicio socialmente necesario.
- Establecer los aprendizajes vinculados al servicio.

**Etapa 2:** Establecimiento de relaciones con entidades sociales.

- Identificar a las entidades con las que colaborar.
- Plantear la demanda y llegar a un acuerdo.

**Etapa 3:** Planificación.

- Definir los aspectos pedagógicos.
- Definir la gestión y la organización.
- Definir las etapas de trabajo con el grupo.

### (b) Ejecución

**Etapa 4:** Preparación:

- Motivar al grupo.
- Diagnosticar el problema y definir el proyecto.
- Organizar el trabajo que se llevará a cabo.
- Reflexionar sobre los aprendizajes en la preparación.

**Etapa 5:** Ejecución:

- Realizar el servicio.

- Relacionarse con personas y entidades del entorno.
- Registrar, comunicar y difundir el proyecto.
- Reflexionar sobre los aprendizajes realizados.

**Etapa 6:** Cierre:

- Reflexionar y evaluar los resultados del servicio realizado.
- Reflexionar y evaluar los aprendizajes conseguidos.
- Proyectar perspectivas de futuro.

**(c) Evaluación**

**Etapa 7:** Evaluación multifocal:

- Evaluación del grupo y a cada uno de sus integrantes.
- Evaluación del trabajo en red con la entidad de apoyo.
- Evaluación de la experiencia como proyecto de ApS.
- Autoevaluación del docente.

Este esquema puede ser adaptado y tomado como referencia para el desarrollo de otros proyectos de ApS en el contexto universitario. Cabe destacar que, para que esta metodología sea efectiva, conviene tener al menos dos sesiones por semana en la asignatura de aplicación para dar continuidad al trabajo y que éste se pueda desarrollar con normalidad.

3. RESULTADOS

En primer lugar, se realiza una descripción detallada del contenido elaborado y, a continuación, se analiza el impacto obtenido.

3.1. Propuesta ApS elaborada

El reto que se plantea con esta actividad es dar respuesta a la pregunta: ¿cómo recuperar y revalorizar los NFU para buscar nuevas oportunidades de negocio en la edificación? De este modo se aborda la problemática medioambiental asociada a estos residuos. Las competencias que se pretenden trabajar son:

- Comprender la misión, visión, valores y estrategia de la empresa.
- Comprender los principios y directrices de la dirección estratégica.
- Que el alumnado sea capaz de comprender, interpretar, sintetizar y evaluar de forma crítica información proveniente de fuentes diversas en el ámbito de la administración y dirección de empresas.
- Que el alumnado adquiera un compromiso ético en su trabajo.

Para tal fin, la propuesta de ApS se ha organizado siguiendo las siguientes etapas para su implementación en el aula:

**Etapa 1.** Se plantea al alumnado el problema de la gestión de los NFU en la actualidad. Para ello, se cuenta con el apoyo de expertos de la organización SIGNUS ECOVALOR, S.L. quienes se encargan de contextualizar al alumnado sobre la situación actual de estos residuos y la necesidad de buscar nuevas vías de recuperación y revalorización. En esta etapa se plantea el reto de buscar posibles modelos de negocio alternativos que pongan en valor estas materias primas secundarias y reflejen su potencial de aplicación en la edificación. Se constituyen grupos de 3 a 5 estudiantes para la elaboración del trabajo final en grupo, introduciéndose en este punto técnicas de trabajo en equipo y dinámicas de autoconocimiento y transmisión de la información de manera asertiva. Finalmente, se establecen también los aprendizajes

formales vinculados a la necesidad de adquirir las competencias descritas, y los aprendizajes no formales, donde tiene gran relevancia la colaboración con agentes externos y el desarrollo de las denominadas *soft skills*.

**Etapa 2.** Establecimiento de relaciones con entidades sociales y búsqueda de apoyo para solventar el problema detectado. En esta etapa, el apoyo de las organizaciones sin ánimo de lucro y centros de reciclaje resulta clave. Para el caso de esta propuesta, la búsqueda de potenciales colaboradores se realizó con anterioridad a su desarrollo, con el objetivo de agilizar su implementación.

**Etapa 3.** Planificación de la actividad, definiendo los aspectos pedagógicos, de gestión y organización y tiempos de preparación, ejecución y evaluación del trabajo. En esta etapa, se tiene en cuenta la duración de la asignatura (15 semanas, 2 sesiones por semana de 2 horas).

**Etapa 4.** Preparación por parte del profesorado, trabajando en la motivación al grupo, el diagnóstico del problema, la definición del proyecto, la organización del trabajo y la reflexión sobre los aprendizajes en la preparación.

**Etapa 5.** Ejecución de la acción, donde el alumnado llevará a cabo el servicio, que consistirá en la propuesta de cada grupo de un modelo de negocio que permita edificar empleando los NFU como materia prima. En esta etapa, se debe llevar a cabo un análisis del entorno (general y específico), la definición de la visión, misión, valores y objetivos estratégicos del negocio formulado, estudio de la cadena de valor del nuevo producto o sistema constructivo planteado, repercusión social derivada del mismo, fuentes de ventaja competitiva asociadas, etc. Se trata de utilizar y aplicar cuestiones que forman parte del temario de la asignatura de Dirección Estratégica. Además, se debe elaborar una memoria que recoja todos los elementos alcanzados y los pendientes o cancelados, lo que favorece la reflexión, evaluación y posibles readaptaciones del proyecto.

**Etapa 6.** Cierre de la experiencia basada en las etapas previas. En esta etapa conviene presentar el potencial de aplicación del proyecto planteado y darle continuidad.

**Etapa 7.** En esta última etapa, hay que evaluar al grupo mediante procesos de heteroevaluación, coevaluación y autoevaluación, no solo de las competencias y resultados obtenidos, también del trabajo en equipo y de la experiencia adquirida. Además, es interesante evaluar el trabajo en red con las familias, con la comunidad y con la entidad del proyecto, así como, concluir con una autoevaluación del trabajo docente realizado y posibles mejoras en futuros cursos académicos.

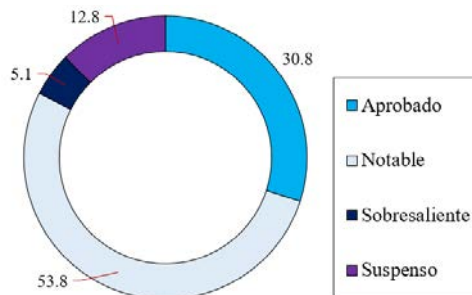
La distribución temporal de las etapas por sesiones semanales se recoge en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Distribución semanal de las etapas en el proyecto ApS

Sem.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
E1	■														
E2		■													
E3			■												
E4				■											
E5					■										
E6						■									
E7							■								

### 3.2. Repercusión en el alumnado

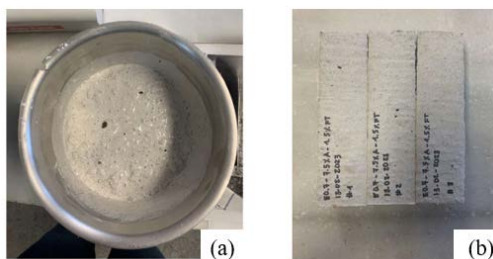
En términos académicos, se puede afirmar que la propuesta metodológica de ApS llevada a cabo ha tenido una repercusión positiva en el alumnado. La tasa de absentismo en el curso 22/23 se ha reducido al 0.0%, y el total de los alumnos/as integrantes del curso han realizado el trabajo de la asignatura durante la evaluación continua. La Figura 2 muestra información resumida de las calificaciones obtenidas.



**Figura 2.** Tasas de éxito curso 2022/23, Dirección Estratégica.

Por otro lado, la valoración por parte del alumnado de la carga de trabajo realizada y la metodología empleada en la asignatura ha sido muy positiva, obteniendo en las encuestas oficiales una calificación superior en todos los casos a 9/10. En este sentido, se entiende que el trabajo desarrollado ha sido beneficioso tanto para el alumnado como para el profesorado implicado en su elaboración. En todo caso, se estima oportuno continuar con un proceso de mejora continua de cara a su aplicación en cursos sucesivos.

Finalmente, como repercusión de la actividad para el conjunto de la sociedad e implicaciones para el sector de la edificación, cabe destacar el desarrollo y puesta en valor de diferentes productos innovadores por parte del alumnado. Entre otros, destacan las múltiples soluciones empleando materiales de yeso y escayola con incorporación de NFU para su empleo en la elaboración de prefabricados ligeros. Este tipo de materiales compuestos pueden ser empleados para desarrollar sistemas constructivos de fácil ejecución, económicos y con un menor impacto ambiental derivado de su fabricación y montaje. A modo de ejemplo, en la Figura 3, se muestra un compuesto elaborado por una estudiante a base de yeso con arcilla expandida y fibras textiles de NFU.



**Figura 3.** Material compuesto de yeso elaborado por una estudiante de la ETSEM para su caracterización y puesta en valor. (a) Mezcla; (b) Muestras para ensayo.

### 4. CONCLUSIONES

Cómo reciclar y revalorizar los NFU es una acción beneficiosa no solo para el alumnado (tomar mayor conciencia de la importancia de la sostenibilidad medioambiental) sino

también a nivel social, ya que repercute en la búsqueda de posibles soluciones a un problema que ocasiona un enorme impacto medioambiental negativo. Se entiende que la propuesta desarrollada puede ser extrapolable a otros contextos universitarios, pudiéndose adaptar a diferentes titulaciones en función del problema medioambiental específico a tratar.

Se considera, además, que es una práctica susceptible de ser aplicada a lo largo del tiempo y que, en vista de los resultados obtenidos, puede repercutir positivamente en la satisfacción/motivación y el rendimiento académico del alumnado que la realiza. Para la evaluación de la experiencia se han utilizado rúbricas en relación para abarcar las diferentes competencias incluidas en la guía de aprendizaje. Se ha elaborado también una matriz de Excel para el seguimiento de las actividades realizadas. En el futuro podría resultar interesante definir un grupo de control para detectar con más precisión las posibles diferencias de resultados y competencias realmente adquiridas por ambos grupos de estudiantes.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por la Oficina de Aprendizaje y Servicio de la UPM, a través de la concesión del proyecto APS23.1001: “Nuevas vías de reciclaje y valorización de los Neumáticos Fuera de Uso: posibilidades de aplicación en el sector de la construcción”, así como la colaboración de SIGNUS ECOVALOR S.L. en todas las etapas de esta experiencia educativa.

### REFERENCIAS

- Amat, A. F.; Molliner, L. (2010). El Aprendizaje Servicio en la Universidad: una estrategia en la formación de ciudadanía crítica. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 13(4), 69-77 Asociación Universitaria de Formación del Profesorado Zaragoza, España
- Cea, P.; González, F.; Muñoz, M. (2015). Aprendizaje servicio en Ingeniería Civil de la UCSC: Experiencia del curso de topografía. *RIDAS, Revista Iberoamericana de Aprendizaje Servicio*, 1, 132-137.
- Cea, P.; González, F.; Muñoz, M. (2015). Aprendizaje servicio en Ingeniería Civil de la UCSC: Experiencia del curso de topografía. *RIDAS, Revista Iberoamericana de Aprendizaje Servicio*, 1, 132-137
- Li, S.; Tran, T.Q.; Li, Q.; Li, B.; Brand, A.S.; Zhang, W. (2022). Zn leaching recovery and mechanisms from end-of-life tire rubber. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107004>
- Puig, J.M.; Batlle, R; Bosch, C.; Palos, J. (2008). *Aprendizaje y Servicio: educar para la ciudadanía*. Editorial Octaedro, Barcelona, España. ISBN: 9788480639019
- UNESCO. (2017). *Educación para los objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje*. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423> (Último acceso: 19 junio 2023)
- Valentini, F.; Pegoretti, A. (2022). End-of-life options of tyres. A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 5(4), 203-213, <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2022.08.006>