

CÓDIGO: 5.2.04**¿OFRECE LA UNIVERSIDAD SUFICIENTE CONOCIMIENTO A SUS ALUMNOS DE INGENIERÍA CIVIL EN MATERIA DE REHABILITACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN?****Biezma, M. Victoria¹; Lombillo, Ignacio²; Villegas, Luis²**¹ Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales e Ingeniería.
Universidad de Cantabriae-mail: biezmav@unican.es web: <http://unican.es>² Ingeniería Estructural y Mecánica.
Universidad de Cantabriae-mail: lombilloi@unican.es, villegal@unican.es; web: www.gted.unican.es**PALABRAS CLAVE:** Rehabilitación; Conservación; Patrimonio Cultural; Universidad; Ingeniería Civil.**RESUMEN**

La Universidad debería adaptarse a los cambios cíclicos que imperan en la sociedad. En la actualidad, el sector de la construcción está experimentando un auténtico declive en numerosos países debido a numerosos factores por lo que, en muchos casos, la opción de rehabilitar lo construido debería potenciarse a nivel formativo. El criterio de rehabilitación es realmente amplio: abarca desde el volver a hacer habitable cualquier edificio, por simple que éste sea, que, poco a poco, ha ido perdiendo sus condiciones iniciales de confort, estabilidad, seguridad, estética, etc., o bien, el que dedica la atención a edificios emblemáticos, de gran valor histórico, cuyo mantenimiento y rehabilitación debiera de ser una obligación moral con la finalidad de permitir su uso a las generaciones actuales y futuras, conservando así ese bagaje construido singular del que dispone la Humanidad. Desgraciadamente, desde las aulas de Ingeniería Civil de la Universidad se dedica muy poca atención a los principios, motivaciones y protocolos de actuación en la rehabilitación de construcciones. Trabajos previos realizados por los autores del presente artículo así lo han reflejado.

En lo que sigue, se refiere brevemente cual es la situación actual de la enseñanza de dicha temática en facultades de Ingeniería Civil de diferentes países del mundo, y se hace un llamamiento para que ésta sea considerada dentro de la formación impartida a nuestros alumnos. Para ello, con base en la investigación realizada se propone lo que podría ser una guía tentativa de asignatura.

1. INTRODUCCIÓN

La rehabilitación y mantenimiento de la edificación constituye uno de los sectores económicos más importantes del sector de la construcción, sobre todo en sociedades más desarrolladas. Así, en Europa, constituye el principal mercado, suponiendo el 36% de la producción del sector (Fig. 1). Esta circunstancia se explica por la antigüedad del parque inmobiliario y porque esta actividad, que es la más intensiva en mano de obra de toda la construcción tiende a ser, en términos relativos, cada vez más costosa, lo que supone que los flujos económicos destinados al sector de la rehabilitación sean cada vez más importantes.

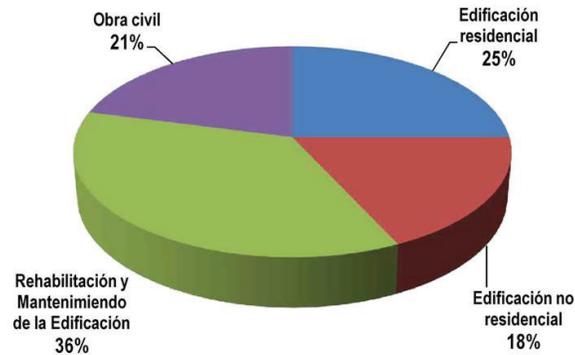


Fig. 1: Composición de la producción de la Construcción en Europa 2007 (Fuente: SEOPAN)

Además, existen muchos motivos que permiten afirmar que el mercado de la rehabilitación tiene un alto potencial de crecimiento en muchos países: la progresiva sensibilidad social que ha adquirido la conservación y disfrute del Patrimonio Cultural edificado; las favorables perspectivas de futuro que ofrece, en la actualidad, el sector cultural como motor de desarrollo, encuadrado en el denominado Turismo Cultural; su consideración como piedra angular del desarrollo sostenible urbano; la implantación paulatina de inspecciones técnicas periódicas de edificios; el progresivo envejecimiento del parque inmobiliario, etc. Dichas circunstancias redundan en la necesidad de formación específica de los técnicos dedicados a este ámbito y, entre ellos, los ingenieros civiles [1].

Las rehabilitación de edificios debe contemplarse como una necesidad en la política cultural, social, económica y medioambiental de cualquier país, ya que el impacto que puede acarrear el fallo de las construcciones existentes por una inadecuada conservación, o por la no consideración de accidentes naturales que han provocado daños en los elementos, pueden producir severas consecuencias para la población y el Patrimonio. Los daños que pueden ocasionar los accidentes naturales están contemplados y deben actualizarse conforme cambian las condiciones naturales del planeta [2,3].

Ahora bien, la definición de las bases de la formación específica que deben recibir los técnicos intervinientes en materia de rehabilitación, no es una temática adecuadamente tratada [4]. Por tanto, el objetivo del presente artículo es tomar conciencia de la situación que impera en nuestras Universidades y hacer una llamada de atención para que nuestros alumnos se planteen la opción de la Rehabilitación como etapa integradora de su formación. Para ello, se finaliza con la propuesta de una guía tentativa de asignatura de Rehabilitación en las escuelas de Ingeniería Civil.

Pero antes de nada tal vez tendríamos que hacer una definición extrapolable al ámbito ingenieril de la rehabilitación de construcciones. De esta forma, podemos preguntarnos: ¿qué se entiende por rehabilitación? Rehabilitar es hacer de nuevo habitable un espacio, que por diferentes motivos, ha perdido su funcionalidad inicial. Pero evidentemente, esta definición puede quedar demasiado acotada y hay que ampliarla atendiendo a la diversidad de la tipología de las construcciones consideradas.

Además, también sería razonable concienciar al alumnado sobre la importancia de esta materia en asignaturas previas de carácter fundamental. En ocasiones, es asombroso comprobar cómo los alumnos no conocen, con cierta profundidad, las propiedades físico – químico – mecánicas de los materiales tradicionales que constituyen tales construcciones o incluso de otros más contemporáneos. Podemos poner el ejemplo de la carbonatación del hormigón reforzado con acero corrugado ASTM A615 (B500 SD), comúnmente denominado acero negro, y plantear unas preguntas básicas: ¿qué es la carbonatación?, ¿qué es un acero negro?, ¿cuál es el pH del hormigón?, ¿qué efecto tiene un ciclo hielo /deshielo en la estructura?, ¿por qué acceden los cloruros por capilaridad?, o incluso vayamos a preguntas más básicas: ¿qué es el pH?, ¿qué es la capilaridad?. Realmente nos llevaremos bastantes sorpresas.

2. JUSTIFICACIÓN

La metodología de intervención en una construcción civil debería plantearse sobre la base de un proceso objetivo secuencial [5], el cual habrá que adaptar a cada caso particular, pues los materiales, el diseño de la estructura, las condiciones ambientales y físicas, y las causas que han provocado el deterioro, marcan de forma determinante las estrategias a seguir. Así, por ejemplo, la casuística de procesos patológicos que se da en las construcciones objeto de rehabilitación es sumamente variada, por lo que es complicado seguir un modelo universal que sirva de protocolo general de trabajo.

Las variables que afectan a dichos procesos patológicos son muy numerosas y extremadamente complejas, puesto que pueden actuar de forma sinérgica; además, en cada tipología material priman unos factores sobre otros. A modo de ejemplo citar que en las estructuras de fábrica es fundamental el material empleado como piezas formes del elemento estructural, la composición del mortero, la correcta ejecución del componente estructural o el contenido de humedad; en la madera lo es la humedad y la actividad biológica y microbiológica; en el hormigón armado su dosificación, la evolución de la carbonatación, el nivel de cloruros y, por ende, la corrosión susceptible de desarrollarse en las barras de acero de refuerzo; en las estructuras de acero la humedad, temperatura o niveles de cloruros. Además, a todo lo referido hay que sumar las condiciones del medio en donde la estructura está ubicada (enterrada, semienterrada, inmersión, semi-inmersión, etc.).

En este punto se hace obligado preguntarnos: ¿cuándo una construcción debe ser rehabilitada?, ¿es más conveniente demoler la edificación y construir una nueva o mantener la ya existente?, ¿cómo proceder durante el proceso de inspección?, ¿las propuestas de intervención son compatibles con la realidad constructiva?, y además para cada pregunta vendría el añadido: ¿por qué?; además, pueden presentarse los casos de estructuras recientemente rehabilitadas, pero que se han deteriorado en poco tiempo, lo que también implicaría plantearse multitud de preguntas en relación a la selección de nuevos materiales empleados, a su compatibilidad entre ellos y con los tradicionales existentes en la construcción, y en general cuestionarse el proceso intervención que se ha seguido.

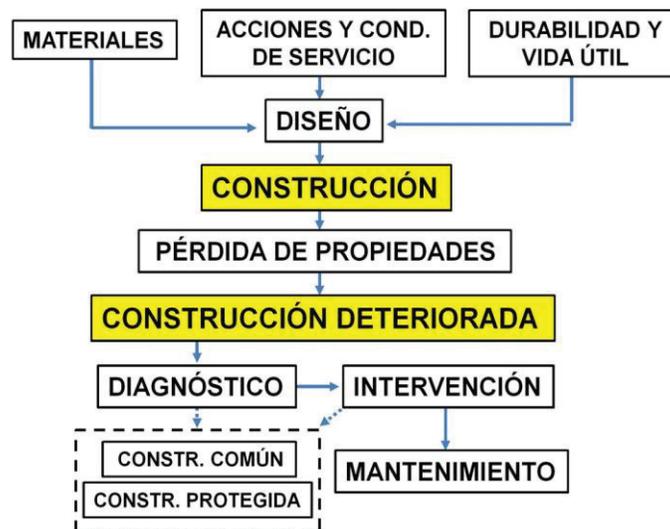


Fig. 2: Parte de las variables que debieran contemplarse en la rehabilitación de una construcción existente.

En la Fig. 2 se presenta parte de las variables que debieran contemplarse en la rehabilitación de construcciones. Evidentemente el protagonismo lo adquiere la construcción objeto de estudio.

Por su parte, en la Fig. 3 se ilustran las consecuencias finales de construcciones deterioradas, así como su puesta en valor mediante su re-estructuración.



Fig. 3: Fotografías del antes y después de una intervención. (a) Palacio de Bendaña o Paternina (Haro, La Rioja), plateresco s. XVI, uso actual: Oficina de Turismo Municipal y recinto expositivo. (b) Cubierta de la Iglesia de Santo Tomás (Haro, La Rioja), s. XVI-XVII, uso actual: Culto e itinerario turístico. (c) Torreón medieval (Haro, La Rioja), s. XIV, uso actual: Museo de arte contemporáneo. (d) Puente medieval de Briñas (Haro, La Rioja), s. XIII.

Por todo ello, debemos trasladar a nuestros alumnos que la Rehabilitación es una opción excelente de ejercer la profesión, por suponer un enriquecimiento sociocultural y económico basado en la puesta en valor de nuestro Patrimonio, velando además por la sostenibilidad, y para la que es necesario disponer de un extenso bagaje técnico; ya se trate de construcciones históricas de elevado valor cultural (buen ejemplo pueden ser los Paradores españoles, www.parador.es, las *Pousadas* portuguesas, www.pousadas.pt, u otras intervenciones similares, Fig. 4) o bien edificios menos específicos (como nuestras propias viviendas).

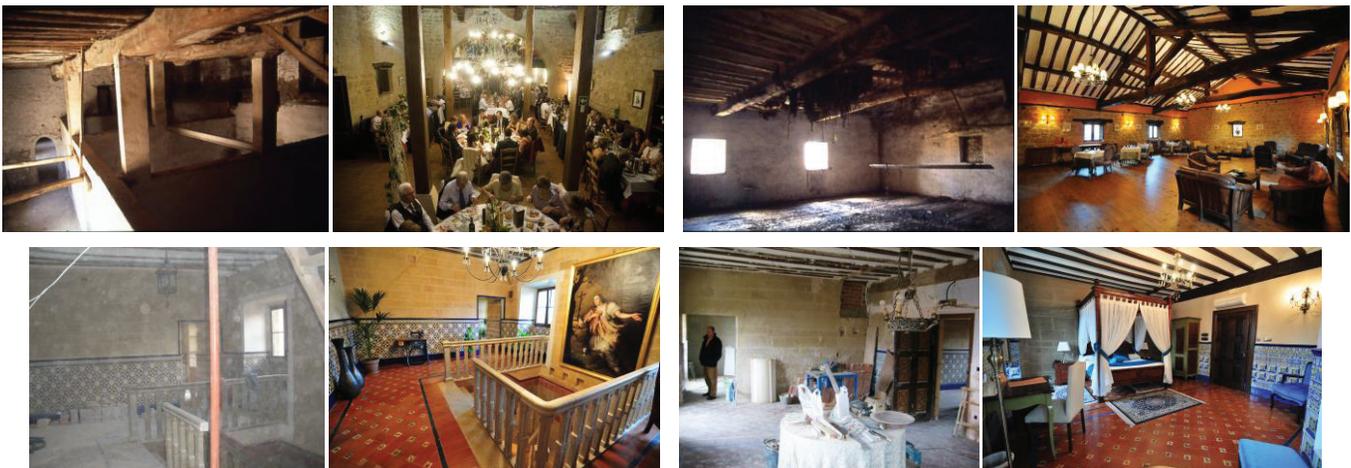


Fig. 4: Diferentes fotografías del antes y después de la intervención en el Palacio de los Condes de Casafuerte (Zarratón, La Rioja), para su uso como hotel-restaurante (www.casafuerte.es).

2.1 Metodología empleada en la elaboración del artículo

La Fig. 5 ilustra la metodología seguida en la elaboración del artículo. Sobre la base del procesado de los datos obtenidos en los cuestionarios recibidos de profesores de Ingeniería Civil involucrados en la enseñanza de Rehabilitación de la Construcción a nivel mundial, así como en la experiencia propia de los autores, se propusieron unos contenidos mínimos a impartir en una asignatura sobre Rehabilitación de la Construcción en Ingeniería Civil. Finalmente, tras una consulta de opinión a varios expertos internacionales en la materia, se preparó la guía tentativa de asignatura.



Fig. 5: Metodología seguida en la investigación [6].

3. RESULTADOS

Como ya se ha referido, el primer paso fue tratar de conocer, a nivel mundial, la dedicación que existe actualmente en las universidades que tienen Facultades o Escuelas de Ingeniería Civil al tema tan particular de Rehabilitación en la Construcción. Obviamente, el enfoque de esta temática es muy distinto si se consideran las construcciones antiguas, constituidas a base de estructuras de fábrica y madera, o más modernas, fundamentalmente a base de estructura metálica o de hormigón. Para ello, se envió una encuesta, minuciosamente elaborada, a profesores de 89 universidades de 30 países distribuidos por los cinco continentes. Las preguntas recogidas en la encuesta pretenden ser un reflejo de los contenidos que considera cada profesor responsable de tal asignatura en su universidad. Además, dentro de la encuesta se incluyó una sección para que los interesados pudiesen enumerar otros contenidos, complementarios de los más generales que contemplaba la encuesta, que imparten en sus asignaturas.

La selección de los países y universidades consultadas se realizó atendiendo a varios criterios objetivos minuciosamente detallados en [7]. A modo de resumen, en el continente europeo se contactaron un total de 33 universidades pertenecientes a 11 países. En el continente asiático, 17 universidades, pertenecientes a 5 países. En América se han contactado 25 universidades de 6 países. En el continente africano, 11 universidades de 6 países. Y de Oceanía, un total de 3 universidades de 2 países (Fig. 6).

Es importante resaltar, que de las 89 universidades consultadas (2324 emails enviados) se recibieron un total 48 encuestas. Un primer dato, ajeno al tratamiento realizado de las encuestas recibidas, es que se recibieron un número importante de contestaciones en las que se dejaba constancia que la rehabilitación de la construcción es una temática no tratada en las facultades de Ingeniería Civil. La dedicación de trabajo a esta finalidad ha sido de una magnitud considerable, pues recabar el tiempo de envío, recepción, análisis y obtención de conclusiones ha sido superior a 14 meses.

Un comentario previo que cabe referir es que es complejo unificar las respuestas debido a la prioridad que cada profesor/plan de estudio otorga a una temática particular [8].

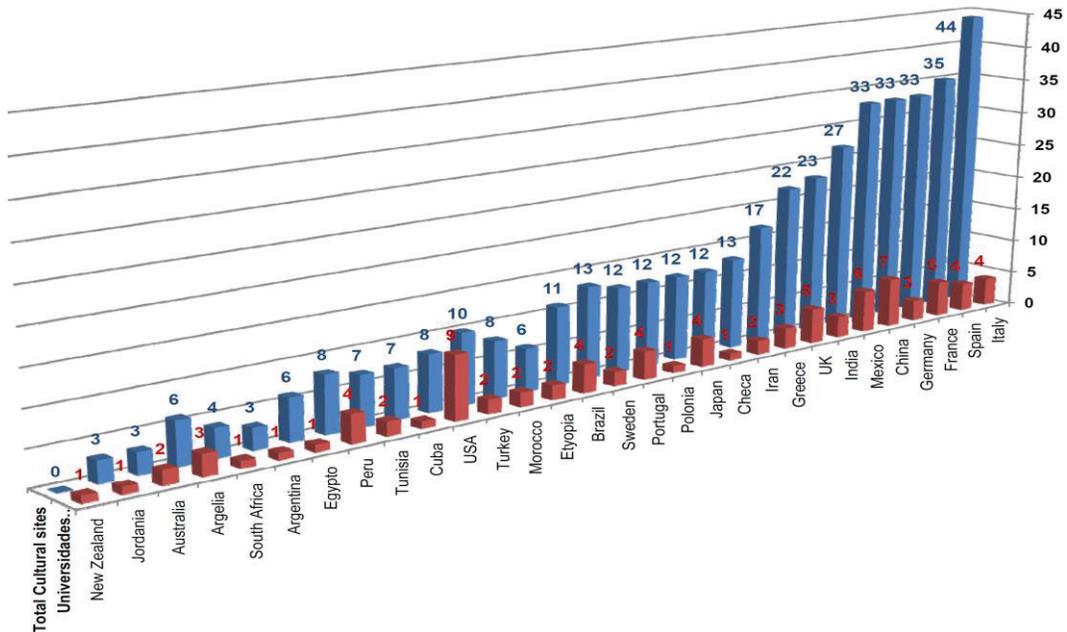


Fig. 6: Número de universidades consultadas en varios países de los cinco continentes y el total de sitios culturales catalogados por UNESCO en el año 2012 [7].

A nivel global, considerando los valores medios de todo el mundo (Fig. 7), se aprecia que la enseñanza sobre rehabilitación del patrimonio tiene mayor impacto en el postgrado que en el grado. Sólo dos temáticas tienen una mayor intensidad en grado. Concretamente la temática relacionada con la rehabilitación de estructuras de hormigón es considerada en el 80% de las encuestas recibidas mientras que, en postgrado es tratado por el 62%. De igual forma, las estrategias de mantenimiento de edificios se tratan en el 69% de las encuestas recibidas de grado frente al 46% de postgrado.

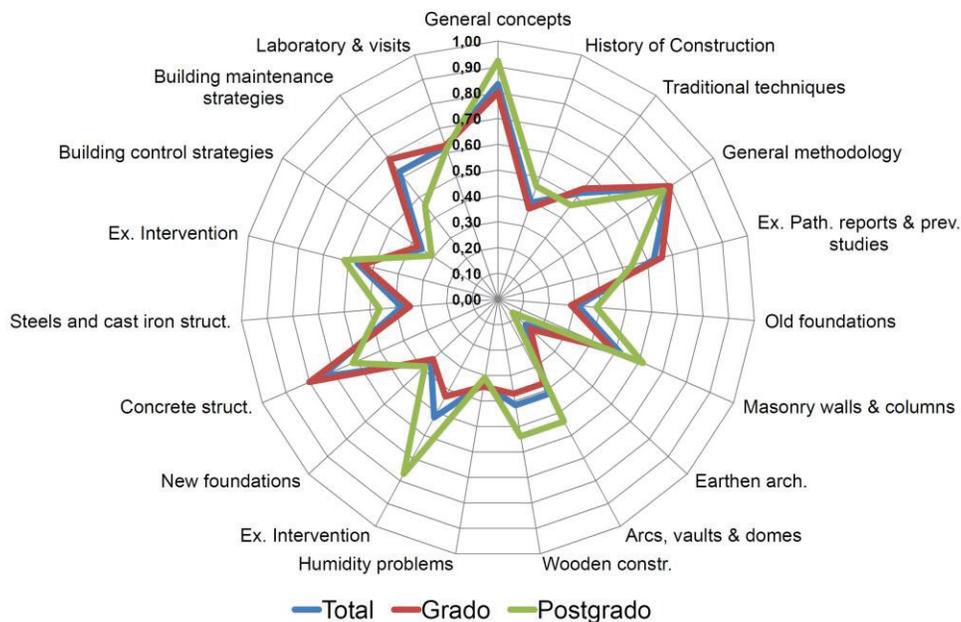


Fig. 7: Diagrama radial sobre la intensidad de tratamiento de diferentes temáticas asociadas con la rehabilitación de la construcción a nivel mundial (en tanto por uno) [7].

Otra circunstancia característica que puede extraerse de la gráfica es que no todas las temáticas contempladas en la encuesta son tratadas con la misma intensidad. A nivel de grado, se aprecia una menor dedicación a contenidos relacionados con construcciones antiguas en relación con las modernas, a excepción de la rehabilitación de construcciones de acero y fundición que sólo es tratada por el 34% de los encuestados. Así, la exposición de conceptos generales y metodológicos, ejemplos de informes de patología y estudios previos, y la rehabilitación de estructuras de hormigón, son las temáticas que se tratan a nivel de grado en más del 70% de las encuestas. En postgrado, además de alguna de las referidas, la exposición de ejemplos de intervención en estructuras antiguas (conformadas por estructuras de fábrica o madera) también es tratada por más del 70% de los encuestados. Por el contrario las temáticas menos tratadas son la rehabilitación de construcciones de tierra (17% en grado y un 8% en postgrado), las estrategias destinadas al control de edificios (37% y 31% respectivamente), conceptos sobre historia de la construcción (37% y 46%), aspectos relacionados con la intervención de cimentaciones ya sean de edificios históricos o más modernos y, como circunstancia curiosa ya referida, la rehabilitación de construcciones de acero y fundición (34% en grado y 46% en postgrado).

Otra afirmación que puede realizarse de este análisis global es que parece razonable equilibrar la intensidad con la que se tratan diferentes temáticas susceptibles de ser incluidas en el temario de una asignatura sobre rehabilitación de la construcción.

Igualmente, en [7] se estudió la dedicación a diferentes temáticas asociadas con la rehabilitación discriminando:

- entre formación en grado y postgrado por continentes,
- entre el grado de desarrollo de los países involucrados en el estudio, y
- en función del patrimonio catalogado en los países.

En este sentido se considera oportuno referir que del análisis realizado por continentes, el estudio de la Rehabilitación es más integral en Europa y, en menor medida, en América, en relación a Asia y África. A su vez, en general, ni el nivel de desarrollo de los países estudiados, ni el hecho de que un determinado país tenga un elevado número de patrimonio catalogado por UNESCO, son razones suficientes para que la formación en Rehabilitación sea tratada con más profundidad tal y cómo lo requiere la sociedad.

Tras el análisis de los resultados obtenidos cabría preguntarse: ¿es posible proponer una guía de asignatura sobre Rehabilitación de Construcciones, cuyo objetivo sea ofrecer al alumno de Ingeniería Civil una visión integral del proceso metodológico a seguir? En este sentido, en base a las opiniones de los encuestados y a la experiencia propia, en la Tabla 1 se ilustran los principales bloques temáticos susceptibles de ser incluidos en dicha guía, una vez auditados por varios expertos internacionales.

Tabla 1: Principales bloques temáticos incluidos en la guía de asignatura sobre Rehabilitación de la Construcción en Ingeniería Civil.

I Nociones generales	II Evaluación de estructuras existentes	III Rehab. de construc. antiguas	IV Rehab. de construc. modernas	V Comportamiento sísmico de constr. antiguas	VI Rehab. de anomalías no estructurales	VII Estrategias de control y mantenimiento	VIII Prácticas
-Conceptos generales -Metodología general	-Inspección in situ (N-MDT) / en laboratorio -Monitorización -Intro. a las técnicas de cálculo -Ejemplos de previos	-Cimentaciones -Estruct. fábrica -Estruct. madera -Arquitectura en tierra -Ejemplos de intervención	-Estruct. hormigón -Estruct. acero y fundición -Ejemplos de intervención	-Efectos de los seísmos. -Seguridad sísmica. -Refuerzos.	-Humedades -Cubiertas -Fachadas	-Control -Mantenimiento	-Visitas obras -Workshops -Prácticas en laboratorio.

Dado que dicha guía de asignatura ya ha sido propuesta y publicada en [6], se remite al lector a dicha referencia para una consulta más detallada de las temáticas y tiempos asignados a cada temática, de las metodologías de enseñanza-aprendizaje propuestas, considerando tanto actividades de carácter presencial (clases magistrales, aprendizaje basado en la práctica, y estudio de casos reales en los que se contempla la enseñanza online por ingenieros que desarrollan la práctica profesional en este sub-sector constructivo), como trabajo autónomo (estudio teórico, resolución de ejercicios prácticos y realización de un trabajo grupal); así como una propuesta de evaluación de la asignatura.

4. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que vivimos en un mundo cada vez más global, el planteamiento de la asignatura de Rehabilitación de la Construcción debería perseguir el formar al alumnado con las mismas bases para todos los estudios de Ingeniería Civil a nivel mundial. No obstante, el diseño propuesto en el presente trabajo debe considerarse como una guía general, de forma que cada universidad debiera prestar especial atención a las temáticas más comunes dentro de las prácticas constructivas de su área de influencia. Además, cada universidad debiera revisar los contenidos de la asignatura para adaptarlos, en cada momento, a las necesidades del sector industrial y de la sociedad en general.

Tras un extenso estudio, en el que han participado profesores de universidades de diferentes países de todo el mundo, se han propuesto las temáticas que debieran considerarse dentro de dicha asignatura. Igualmente, se propone que en ésta el trabajo autónomo suponga un 60% de formación de alumnado, tomando especial relevancia la denominada reflexión individual, basada en la asimilación de casos prácticos meticulosamente preparados, y por otro lado la actividad presencial, que supondría un 40% de la distribución de formación del alumnado, con exposición de contenidos realizados por los profesores incluyendo demostraciones. De esta forma, se quiere resaltar la importancia que tiene la fase de estudios previos para realizar una adecuada diagnosis, fase clave, a juicio de los autores, en todo proceso de rehabilitación.

Debido al tiempo limitado de la asignatura, determinados contenidos son susceptibles de desarrollo en otras asignaturas de carácter optativo, por ejemplo el tema de la rehabilitación de anomalías en elementos no estructurales; el tema, de gran complejidad, del análisis de la seguridad estructural de las construcciones históricas; o el bloque dedicado al comportamiento sísmico de edificios existentes.

Como comentario final, es necesario reconocer que sería importante sondear las perspectivas de necesidades de educación en Rehabilitación de la Construcción, tanto de empresas como de ingenieros profesionales, con la intención de acabar de definir las temáticas cuya formación es más demandada por el sector industrial. Así, con el objetivo de sustanciar la guía propuesta de asignatura sobre la base de las demandas industriales y sociales, el sondeo de la opinión de los profesionales involucrados debiera ser el siguiente paso a desarrollar en futuros estudios.

5. AGRADECIMIENTOS

Se aprovecha para mostrar nuestro más profundo agradecimiento a todos aquellos colegas, de diferentes lugares del mundo, que se tomaron la molestia de dedicar parte de su preciado tiempo en contestar nuestras inquietudes y en aportar su experiencia en la materia, pues sin ellos el estudio que se ha presentado no hubiera sido posible. En particular, nos gustaría agradecer la ayuda del Prof. Pere Roca (*Universidad Politécnica de Cataluña*, España), del Prof. Raimundo Mendes da Silva (*Universidade de Coimbra*, Portugal) y del Prof. Genner Villareal (*Privada Antenor Orrego*, Perú), por proporcionar su opinión experta sobre la propuesta inicial del programa de asignatura.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Arciszewski, T., and Harrison, C. (2010). *Successful Civil Engineering Education*. J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract., 136(1), 1-8.
- [2] Stovel H. (1998). *Risk Preparedness: A Management Manual for World Cultural Heritage*, Rome, ICCROM].
- [3] United Nations Educational (2010). *Managing Disaster Risks for World Heritage 2010*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
- [4] González, J. L. (2005). *Algunas cuestiones sobre la formación de los investigadores en patrimonio construido*. Informes de la Construcción, 57(498), 17-23.
- [5] Lombillo, I. (2010). *Investigación teórico – experimental sobre ensayos ligeramente destructivos (MDT) utilizados para la caracterización mecánica in situ de Estructuras de Fábrica del Patrimonio Construido*. Ph.D. thesis. University of Cantabria, Santander, Spain.
- [6] Lombillo, I., Biezma, M. V., Villegas, L. (2014). *Construction Rehabilitation in Civil Engineering at bachelor degree level: A guideline course*. Journal of Performance of Constructed Facilities (ASCE). In press.
- [7] Lombillo, I., Biezma, M. V., Villegas, L. Lombillo, I., Biezma, M. V., Villegas, L. (2013). *Is sufficient attention given worldwide to Construction rehabilitation in Civil Engineering Schools?*. Technics Technologies Education Management-TTEM, Vol. 8, nº 2, pp. 729-739.
- [8] Burt, W. M. (2010). *Connotations Meanings of Students Performance Labels Used in Standard Setting*. Educational Measurements: Issues and Practice, 28(4), 28-38.