



**Agrupación estratégica**  
Centro de Innovación Tecnológica  
en Edificación e Enxeñería Civil

---

# CATÁLOGO DE SERVICIOS



**XUNTA  
DE GALICIA**



**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**

# Agrupación Extratécnica CITEEC

## Presentación

La Agrupación Estratégica del Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (A-CITEEC) es una iniciativa de agregación de grupos de investigación de la Universidade da Coruña con el objetivo de mejorar e intensificar la investigación y la transferencia de conocimiento en el ámbito de la ingeniería civil y la edificación sostenibles, fomentando el bienestar de las personas, el desarrollo económico y la optimización de los servicios ecosistémicos.

## Oferta tecnológica



Desarrollo de proyectos de investigación básica y aplicada, e innovación orientados a la solución de problemas complejos o singulares.



Asesoramiento tecnológico y estratégico en el ámbito de la ingeniería civil y la edificación de acuerdo con las necesidades de empresas e instituciones.

## Modos de colaboración

- Concurrencia colaborativa como socios en proyectos y licitaciones.
- Contratación de actividades al amparo del artículo 83 de la Ley Orgánica de Universidades y de los Estatutos vigentes de la Universidade da Coruña.

## Prioridades científicas



Preservación y mejora del medio natural y la adaptación al cambio climático global.



Gestión sostenible de recursos hídricos energéticos, del sistema de agua urbana. Economía circular.



Integración de sistemas y diseños eficientes en ingeniería costera, portuaria y del transporte para una movilidad sostenible.



Diseño, desarrollo y seguimiento de materiales, procesos y construcciones innovadores, seguros, durables y sostenibles.



Diseño estructural eficiente en ingeniería civil, del viento y aeronáutica.



Diseño estructural eficiente en edificación.



Simulación numérica de problemas de ingeniería relacionados con la gestión innovadora y sostenible de los recursos naturales, y con el impulso y mejora de la competitividad industrial, de la economía del conocimiento y de la calidad de vida.

## Grupos de investigación

En este catálogo se presentan las áreas de investigación y la oferta tecnológica de cada uno de los grupos que componen la A-CITEEC. Estos grupos cuentan con una estructura propia de organización y son los interlocutores naturales porque conocen sus capacidades para el desarrollo de soluciones tecnológicas y el asesoramiento a empresas e instituciones.



**Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA)**



**Grupo de Métodos Numéricos en Ingeniería (GMNI)**



**Grupo de Construcción (gCons)**



**Grupo de Estructuras Arquitectónicas (GEA)**



**Grupo de Mecánica de Estructuras (GME)**



**Grupo de Carreteras, Geotecnia y Materiales (CGM)**



**Grupo de Ferrocarriles y Transportes (GFT)**



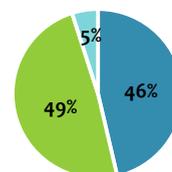
**Grupo de Ingeniería y Dirección de Proyectos (GRIDP)**



**Grupo de Visualización Avanzada y Cartografía (VAC)**

## La Agrupación en cifras

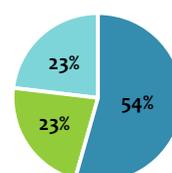
- Financiación captada en proyectos de investigación, convenios y contratos con empresas. Datos: año 2019



**TOTAL: 5,0 millones de euros (M€)**

- Convenios/contratos: 2,3 M€
- Proyectos nacionales: 2,4 M€
- Proyectos europeos: 0,3 M€

- Personal A-CITEEC:



**TOTAL: 160 integrantes**

- Investigadores/as sénior: 87
- Investigadores/as júnior: 36
- Personal técnico y de administración: 37

## Presentación

El grupo de investigación GEAMA centra su actividad en la difusión del conocimiento, el fomento de la investigación y la asesoría a empresas e instituciones en el campo de estudio del ciclo natural y urbano del agua. El grupo integra disciplinas y capacidades complementarias en la Ingeniería del Agua, para abordar los problemas con una perspectiva multidisciplinar.

## Áreas de investigación

- ▶ INGENIERÍA HIDRÁULICA
- ▶ INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
- ▶ INGENIERÍA MARÍTIMA Y PORTUARIA
- ▶ HIDROLOGÍA Y GEOLOGÍA APLICADA

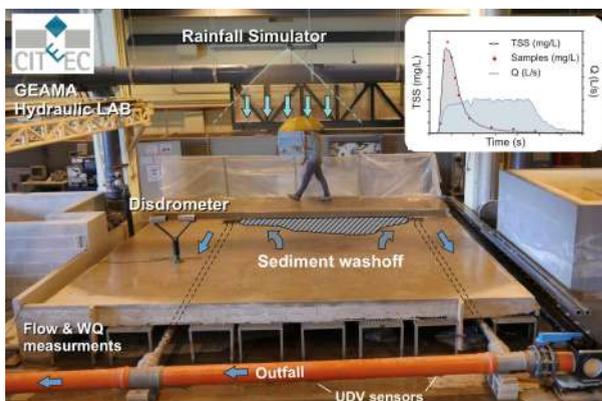
### Ingeniería hidráulica

Las líneas de trabajo de esta área de ingeniería hidráulica se centran fundamentalmente en la evaluación de recursos hídricos y en la gestión de aguas continentales superficiales, tanto a escala de cuenca hidrográfica como en el ámbito urbano:

- Evaluación y gestión del riesgo de inundación
  - Desarrollo de metodologías para la evaluación, previsión y gestión de avenidas y de riesgo asociado a inundaciones fluviales.
  - Sistemas de alerta temprana frente al riesgo de inundación.
  - Desarrollo de modelos físicos y numéricos, hidrológicos e hidráulicos para la evaluación de zonas inundables.  
([www.iberaula.es](http://www.iberaula.es))



- Gestión integral de recursos hídricos
  - Desarrollo de metodologías para caracterizar las sequías a nivel regional y de cuenca hidrográfica.
  - Evaluación de los efectos del cambio climático en las inundaciones y sequías.
  - Planificación y gestión integral de los recursos hídricos a nivel de cuenca hidrográfica.
- Hidrología urbana
  - Análisis numérico y experimental de los procesos hidrológicos e hidráulicos en medio urbano.
  - Modelización integrada del agua urbana, incluyendo acoplamiento de flujos superficiales, de red y de medio receptor.
  - Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua urbana.



Plataforma Científica de Ensayos de Hidrología Urbana del CITEEC

### Ingeniería sanitaria y ambiental

Este área se orienta hacia la comprensión y mejora de los sistemas de agua urbana y de su relación con el territorio, con una visión sistémica, integradora y sostenible. Se trata de un enfoque hacia una investigación multidisciplinar referida a la globalidad, donde las cuestiones tecnocientíficas se amplían (medio físico, biológico, social, cultural, económico).

Las metodologías y procedimientos de investigación-innovación que se desarrollan tienen muy presente que las diversas herramientas (plantas piloto, ensayos de laboratorio, modelización numérica, trabajo de campo con caracterización e instrumentación en línea intensiva, ...) no son fines en sí mismas, sino que están supeditadas al objetivo final: el conocimiento y comprensión de los fenómenos ambientales, con el fin de aportar soluciones reales a los problemas o retos planteados. Este enfoque permite dar a los trabajos que se afrontan un carácter pragmático en cuanto a la utilidad final de los resultados obtenidos.

A continuación se presentan seis líneas de investigación en las cuales se desarrollan trabajos o proyectos específicos:

- Gestión integrada de la contaminación en sistemas de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia

La necesidad de minimizar las presiones y los impactos antrópicos sobre las masas de agua obliga a que la concepción de los nuevos sistemas de saneamiento y drenaje urbano, y el funcionamiento de los existentes, sea revisada y se analice su función y comportamiento tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia. Los desbordamientos de los sistemas unitarios (DSU) en tiempo de lluvia y la consideración de las escorrentías contaminadas como aguas residuales de origen pluvial, obliga al desarrollo de nuevas estrategias y formas de planificar, proyectar y explotar los sistemas de agua urbana.

- Desarrollo urbano sensible al agua (DUSA)

El DUSA representa un nuevo paradigma en la planificación y el diseño del desarrollo urbano con el fin de minimizar los impactos sobre el ciclo natural del agua. Se busca la resiliencia, la sostenibilidad y la aplicación de soluciones basadas en la naturaleza, para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, la preservación y mejora del medio natural y la adaptación al cambio climático.

- Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)

El DUSA tiene como gran aliado los SUDS, que están constituidos por un conjunto de técnicas y estrategias de gestión de las aguas pluviales. Se basan en la simulación del ciclo hidrológico natural en medio urbano y en procesos naturales de tratamiento. Se diseñan para maximizar las oportunidades y los beneficios que podemos obtener de la gestión del agua pluvial, como por ejemplo oportunidades de ocio, salud, o biodiversidad.

- Depuración de aguas residuales urbanas

El área se especializa en la innovación e investigación sobre reactores biopelícula, poseyendo una gran experiencia en el diseño, explotación y modelización de estos reactores. También lleva a cabo estudios para el diseño, explotación y control de sistemas naturales de depuración basados en humedales artificiales.

- Análisis de presiones sobre masas de aguas continentales por vertidos de aguas residuales

Conocer y comprender la respuesta de los indicadores de calidad físico-químicos, o de contaminación fecal, de una masa de agua que recibe un vertido precisa del uso de modelos numéricos de simulación de la calidad del agua. Estos deberán ser más o menos complejos en función de la tipología del medio acuático, del tipo de contaminantes, de los impactos a estudiar, y de los ámbitos espaciales y temporales.

- Agua en el medio rural

Esta área ha colaborado y colabora en el desarrollo de las Directrices de Saneamiento en el Medio Rural de Galicia y las Instrucciones Técnicas para obras Hidráulicas de Galicia (ITOHG). Actualmente se están desarrollando las Instrucciones Técnicas de Obras Hidráulicas de Galicia para Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (ITOHG-EDAR), orientadas al saneamiento, sobre todo, en el medio rural.

## Ingeniería marítima y portuaria

El campo de la ingeniería marítima y portuaria del GEAMA combina experiencia en proyectos de investigación aplicados con proyectos de asesoramiento a empresas e instituciones. Las áreas fundamentales de trabajo son la modelización física y las campañas de campo, desarrollando también proyectos de modelización numérica en entornos costeros. Las líneas de investigación son las siguientes:

- **Diseño y optimización de estructuras de protección de la costa**

Realización de trabajos que abarcan el análisis de la estabilidad estructural y optimización de diseños de diques en talud, diques verticales y cajones antirreflejantes. También se analizan las estructuras flotantes para asegurar unas condiciones óptimas de funcionamiento. Además, se realizan diseños de pantallas anti-olas sumergidas centrándose en la relación entre la porosidad, las olas transmitidas y los esfuerzos en los pilotes.



Dársena del Laboratorio de Puertos y Costas del CITEEC. Superficie: 1000 m<sup>2</sup>

- **Desarrollo de sistemas de gestión y toma de decisiones en la operatividad portuaria**

Estudio de los rendimientos de las operaciones de carga y descarga, como por ejemplo el comportamiento dinámico de buque atracado. La herramienta fundamental para este estudio “Buque - Sistema de amarre” es la monitorización in situ del buque atracado, para la cual se utilizan células de carga. Estas medidas se complementan con un sistema integrado que permite evaluar los seis grados de libertad de un buque.

Toda esta información se combina con datos de forzadores climáticos, para el desarrollo y calibración de funciones de transferencia que sirven como herramienta predictiva del comportamiento del buque, de gran utilidad para la creación de aplicaciones de gestión portuaria.

- **Modelización y campañas de campo en instalaciones portuarias**

Aplicación de modelos numéricos 2D y 3D de dinámica litoral. Las líneas de trabajo abarcan la propagación de olas y la determinación de fenómenos asociados, como corrientes de marea y estuarios, así como la aplicación de modelos de agitación portuaria. Además, se estudia la interacción “Ola-Estructura” con modelos de dinámica de fluidos CFD (IHFOAM) y modelos lagrangianos de hidrodinámica suavizada de partículas SPH (DualSPHysics).



Operaciones de carga y descarga en el Puerto Exterior de Punta Langosteira, A Coruña

## Hidrogeología y Geología Aplicada

Desarrolla su actividad dentro del campo de las aguas naturales, el medio ambiente, así como en distintas facetas de la geología aplicada y la ingeniería geológica. Entre sus líneas de investigación destacan:

- **Hidrología e hidrogeología**

Realización de estudios para la estimación de balances hídricos, evaluando los distintos componentes hidrológicos con vistas a su aplicación en restauración minera, en explotaciones de piedra natural y la gestión de minas.

También se desarrollan estudios integrales para el aprovechamiento de recursos hídricos en diferentes áreas, así como estudios relacionados con la hidráulica de inundaciones asociadas a eventos hidrológicos extremos.

- ▶ Aprovechamiento y explotación de aguas subterráneas
- ▶ Planificación hidrológica
- ▶ Intrusión salina
- ▶ Caracterización y estudios hidrogeológicos
- ▶ Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas
- ▶ Limnología de lagos y embalses

- **Calidad de aguas naturales**

Caracterización de aguas subterráneas procedentes de vertederos mediante tratamientos pasivos, así como estudios de calidad hidroquímica de manantiales.

- **Restauración minera**

Realización de estudios de impacto ambiental y planes de restauración de diferentes explotaciones a cielo abierto, así como evaluaciones de posibles zonas hidrológicas viables de deposición de zafra generada en explotaciones de pizarra.

- **Hidrotermalismo y energía geotérmica**

Captación, aprovechamiento de aguas termales, minerales y minero-medicinales y evaluación de los perímetros de protección asociados a las correspondientes captaciones.

- **Geología aplicada**

Caracterización petrofísica y de mecánica de rocas, así como de valorización de residuos mineros; evaluación del comportamiento térmico, hídrico, mecánico y químico de rocas potenciales para el almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>.



Vehículo de Operación Remota (ROV) para la inspección de infraestructuras y fondos marinos a gran profundidad

Coordinación: Luis Cea Gómez  
luis.cea@udc.es  
www.geama.org

 Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

**Presentación**

La especialidad del GMNI es la simulación numérica a gran escala y bajo demanda para la resolución de problemas multidisciplinares acoplados de ingeniería y ciencia aplicada.

Las líneas de investigación generales del GMNI se enmarcan en lo que actualmente se denomina Ingeniería Computacional, es decir el planteamiento de problemas de cálculo, optimización o identificación de parámetros en Ingeniería multidisciplinar (Civil y Ambiental, Mecánica, Eléctrica, Aeronáutica, Biomédica, etc.) mediante formulaciones de Mecánica Computacional, como los métodos de elementos finitos (FEM), elementos de contorno (BEM), volúmenes finitos (FVM) y más recientemente el análisis isogeométrico (IGA). Los modelos resultantes se resuelven mediante Métodos Numéricos, lo que requiere su implementación en ordenadores digitales convencionales o de altas prestaciones, dependiendo del tamaño del problema.

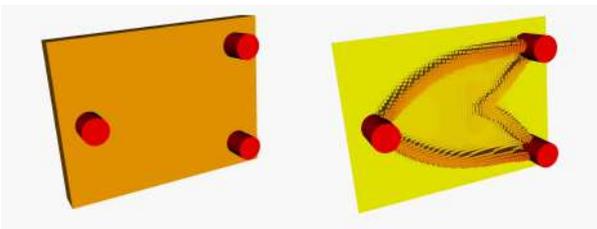
Para cada problema específico nuestra actuación incluye: identificar los fenómenos físicos y los procesos involucrados; formular el modelo físico-matemático y su discretización; programar la formulación numérica resultante; desarrollar o adaptar las herramientas de modelado y visualización; calibrar los parámetros; realizar la simulación en nuestros servidores (o entregar la aplicación informática, en su caso); e interpretar y valorar los resultados. Con carácter general los métodos numéricos empleados son de última generación y el software es de desarrollo propio.

**Áreas de investigación**

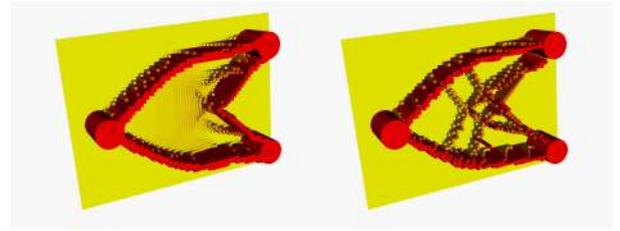
- ▶ MECÁNICA DEL SÓLIDO – OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS
- ▶ MECÁNICA DE FLUIDOS – DISEÑO DE TURBOMÁQUINAS
- ▶ CONTROL DE LA SALINIDAD, TEMPERATURA, VERTIDOS Y ESPECIES EN EL MEDIO MARINO
- ▶ TRANSPORTE Y GENERACIÓN DE ENERGÍA
- ▶ CÁLCULO RACIONAL DE FIRMES FLEXIBLES
- ▶ INGENIERÍA BIOMÉDICA – MODELOS ESPECÍFICOS PARA EL PACIENTE

**Mecánica del sólido – optimización de estructuras**

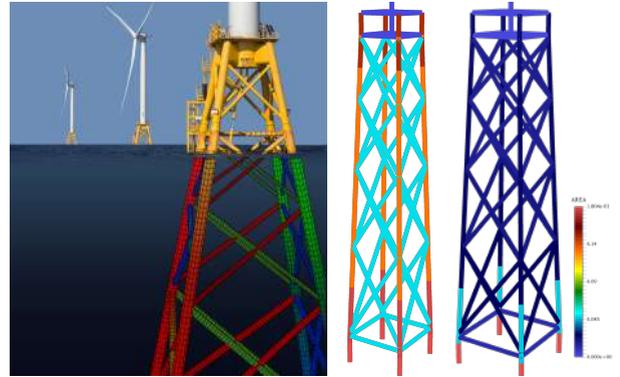
El GMNI dispone de programas de propósito general para la resolución numérica de problemas de mecánica del sólido mediante métodos matriciales para estructuras discretas y los Métodos de Elementos Finitos y de Análisis Isogeométrico para estructuras continuas. Por tratarse de software de desarrollo propio, es posible introducir las modificaciones que sean necesarias para adaptar los cálculos a las especificaciones particulares de cada caso concreto. Cada programa de cálculo dispone del correspondiente análisis de sensibilidad (analíticamente exacto) de orden superior, lo que permite obtener con gran precisión las variaciones de los resultados al modificar los datos sin necesidad de recalcular todo el problema. El grupo dispone también de programas de desarrollo propio para la resolución numérica de problemas de optimización con restricciones de tipo general. La combinación de las herramientas anteriores permite plantear y resolver problemas de estimación de parámetros, de optimización de dimensiones y formas, y de optimización topológica de estructuras de cualquier tipo. Las líneas de investigación más recientes en esta área son la optimización de *jackets* para parques de energía eólica off-shore y la optimización topológica de piezas mecánicas.



Optimización topológica de una pieza mecánica (1)



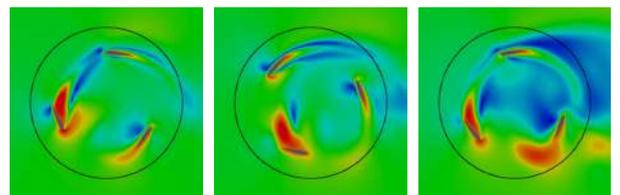
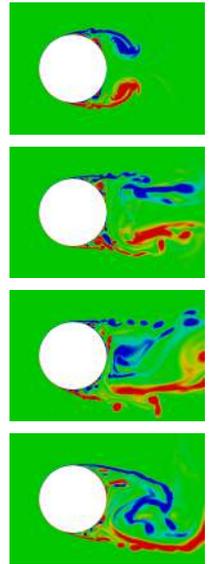
Optimización topológica de una pieza mecánica (2)



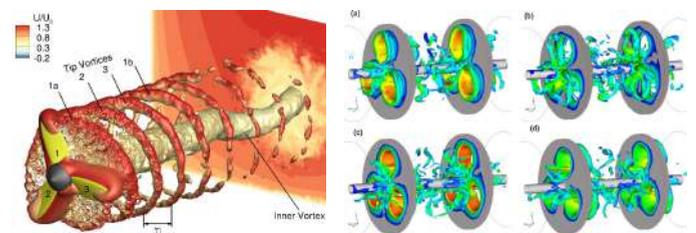
Optimización de jackets para parques de energía eólica off-shore

**Mecánica de fluidos – diseño de turbomáquinas**

El GMNI dispone de programas para la resolución numérica de problemas de mecánica de fluidos (CFD) mediante los Métodos de Volúmenes Finitos y de Elementos Finitos. Por tratarse de software de desarrollo propio, es posible adaptar los cálculos a las especificaciones particulares de cada caso concreto. Entre las líneas de investigación más recientes en esta área se encuentran la simulación de flujos en régimen turbulento, la detección de ondas de choque en flujo compresible, el análisis de la cavitación en perfiles aerodinámicos e hidrodinámicos, el diseño y análisis de turbomaquinaria, el flujo transónico, la optimización de perfiles aerodinámicos e hidrodinámicos y el planteamiento de problemas de convección-difusión puramente hiperbólicos (lo que permite detectar frentes de onda). El grupo también ha desarrollado métodos sin malla que permiten tratar eficazmente ciertos problemas de superficie libre de gran complejidad como (mezcla de fluidos y relleno de moldes, entre otros).



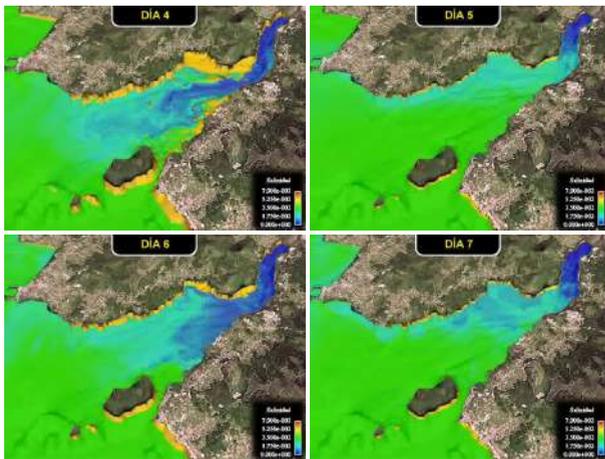
Flujo turbulento en torno a las palas de un aerogenerador de eje vertical



Turbina marina de eje horizontal para generación de energía y dinámica de un biorreactor oscilatorio de tres orificios para el cultivo de biocombustible

## Control de la salinidad, temperatura, vertidos y especies en el medio marino

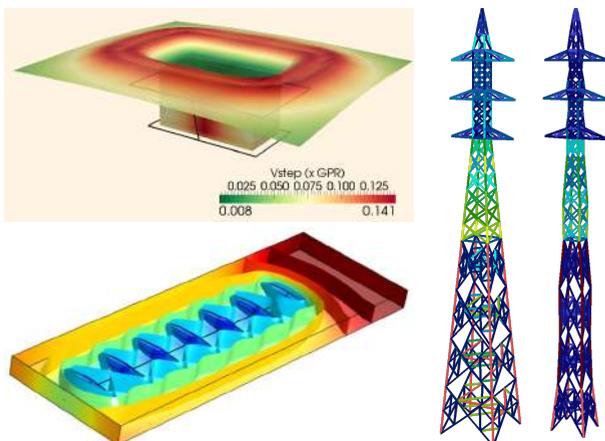
El planteamiento de problemas acoplados de mecánica de fluidos permite resolver simultáneamente el flujo hidrodinámico y la propagación en el medio marino de la sal, el calor, contaminantes, sólidos en suspensión y especies biológicas. Los modelos pueden ser extraordinariamente grandes. Las imágenes muestran la evolución de la salinidad en la zona de los Lombos del Ulla, en la Ría de Arousa. En esta simulación se utilizó un modelo de toda la Ría que tenía en cuenta la aportación de agua dulce del río, la onda de marea, el viento y la posible aparición de temporales. Gracias a este estudio se descartó el dragado de la zona, que habría costado decenas de millones de Euros y habría provocado una catástrofe medioambiental y económica sin precedentes al rebajar drásticamente el nivel de salinidad (que es necesario para la proliferación del marisco). En la actualidad es posible modelar grandes zonas costeras, lo que permite realizar el seguimiento de la propagación de vertidos.



Hidrodinámica y evolución de la salinidad en los Lombos del Ulla (Ría de Arousa)

## Transporte y generación de energía

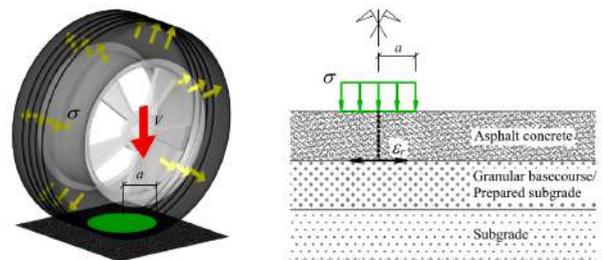
Entre las aplicaciones desarrolladas por el GMNI en esta área, se encuentran varios paquetes de software para el diseño asistido por ordenador, el cálculo y la optimización de torres de alta tensión, así como el cálculo de redes de tierra para subestaciones eléctricas (programa TOTBEM, basado en el Método de Elementos de Contorno). Este último programa permite calcular la resistencia equivalente del sistema de puesta a tierra, la distribución de potenciales en superficie durante una descarga y el potencial transferido a grandes distancias a través de conductores enterrados. Entre las líneas más activas en este momento se encuentran la extracción de hidrocarburos por métodos no convencionales y la explotación de energía geotérmica de media profundidad.



Potencial de paso en superficie originado por la tierra de una subestación enterrada, presión en un pozo de gas shale hidrofracturado y optimización de una torre de alta tensión

## Cálculo racional de firmes flexibles

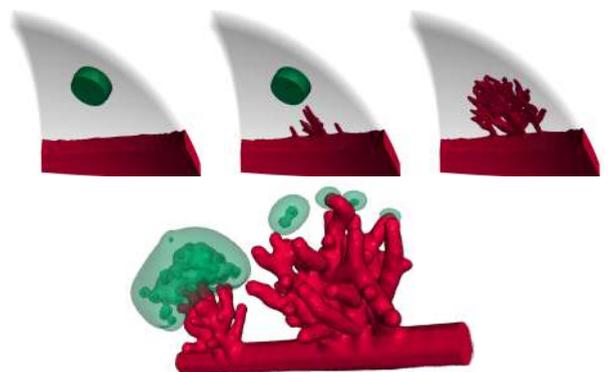
Como sucede en el caso de la gran mayoría de los países del mundo, el procedimiento establecido para el análisis a fatiga de firmes flexibles en la norma española 6.1-1C es esencialmente una adaptación del original incluido en la norma norteamericana AASHTO, mediante el que la sección del firme se dimensiona a fatiga. El número de ciclos que soporta el material se determina mediante una ley de fatiga basada en la deformación horizontal que se produce en la capa más profunda del asfalto ante el paso de un eje estandarizado. Sin embargo, ninguna de las normas actuales tiene en cuenta los efectos dinámicos debidos al deterioro del perfil longitudinal de rugosidad de la carretera. El GMNI dispone de programas que permiten calcular el comportamiento estructural del firme, simular la degradación de la superficie de rodadura, y cuantificar la reducción de la vida útil de la sección debido al aumento de las cargas dinámicas ejercidas por los vehículos a medida que pasa el tiempo. El grupo ha realizado recientemente una aplicación simplificada (DMSA) por encargo del Banco Europeo de Inversiones (BEI) que permite dimensionar la sección del firme teniendo en cuenta estos efectos y analizar la duración de su vida útil en función del programa de mantenimiento y las operaciones de conservación que se lleven a cabo.



Análisis a fatiga de firmes flexibles teniendo en cuenta efectos dinámicos de rodadura

## Ingeniería Biomédica – modelos específicos para el paciente

La Ingeniería Biomédica es un nuevo campo que se basa en la aplicación de los procedimientos de la Ingeniería, y en especial los métodos de Ingeniería Computacional, para la resolución de problemas relacionados con el tratamiento y la curación de enfermedades. El desarrollo de modelos específicos para el paciente es un paradigma reciente que propugna el estudio de cada caso concreto teniendo en cuenta las características del paciente y de su enfermedad, con el fin de diseñar el mejor tratamiento posible en cada momento, ya sea quirúrgico, farmacológico, radiológico o de cualquier otro tipo. El GMNI dispone de modelos de Ingeniería Cardiovascular, que permiten analizar el funcionamiento del sistema circulatorio con el fin de identificar el lugar idóneo para realizar un bypass o predecir la evolución de un aneurisma, por ejemplo. Más recientemente se han desarrollado modelos que permiten simular la angiogénesis y tener en cuenta su efecto en la predicción del crecimiento de un tumor.



Simulación de angiogénesis y crecimiento de tumores

Coordinación: Fermín Luis Navarrina Martínez  
fermin.navarrina@udc.es  
<http://caminos.udc.es/gmni>



### Presentación

El Grupo de Construcción (gCons) investiga, difunde y transfiere conocimiento sobre el amplio campo de la ingeniería de la construcción. Sus actividades se apoyan notablemente en la experimentación gracias a los laboratorios de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña y del CITEEC.

### Áreas de investigación

- ▶ **TECNOLOGÍA DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS**
- ▶ **APROVECHAMIENTO Y GESTIÓN DE RESIDUOS Y SU RECICLAJE COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**
- ▶ **ADHERENCIA Y ANCLAJE**
- ▶ **PATOLOGÍA, REPARACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS**
- ▶ **DESARROLLO Y APLICACIÓN DE NUEVOS MATERIALES**
- ▶ **ENSAYOS A GRAN ESCALA PARA CARACTERIZAR EL COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS**
- ▶ **APLICACIÓN DE TÉCNICAS BASADAS EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL A LA INGENIERÍA Y LA EDIFICACIÓN**
- ▶ **INSTRUMENTACIÓN Y TÉCNICAS DE ENSAYO EN INGENIERÍA Y EDIFICACIÓN**
- ▶ **ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO EN LA EDIFICACIÓN**

### Tecnología de materiales y estructuras

El grupo gCons se ha especializado en el estudio del hormigón, destacando las investigaciones encaminadas a conocer su comportamiento reológico en estado fresco (proyectos Horreo e InHormes), la repercusión de la adición de fibras naturales o sintéticas, o la influencia del curado interno en el hormigón (proyecto Haccuracem).



Caracterización hormigón en fresco

### Aprovechamiento y gestión de residuos y su reciclaje como materiales de construcción: Construcción Sostenible

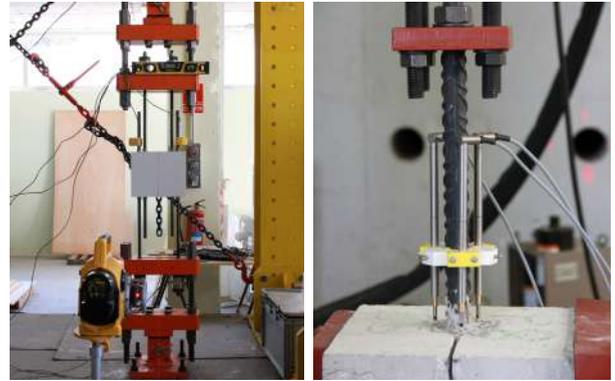
Desde el año 2000 el grupo ha liderado, junto a numerosas empresas, varios proyectos nacionales y autonómicos que estudian los áridos reciclados para la fabricación de hormigón (proyectos Dihapo, Rechhor, Cleam, Gear, Tecnoval,...). A partir de esos trabajos se investiga la incorporación de otros residuos urbanos o industriales bajo el marco de la Construcción Sostenible: reciclaje de conchas de bivalvo (proyecto Biovalvo), de cenizas y escorias (proyecto Cenicienta), de filler de diversas industrias (proyectos Alfiller, Pantera,...), son algunos de los casos abordados.



Módulo Biovalvo construido con concha de mejillón reciclada

### Adherencia y anclaje

Esta línea está abierta desde la creación de gCons (proyectos Zancla y Adhan), y se orienta tanto al desarrollo de ensayos y normas (por ejemplo, ensayos de longitud de anclaje de armaduras pretensas, o ensayos para reproducir el empalme de armaduras pasivas) como a la solución de problemas en estructuras singulares en construcción. Algunos de los trabajos son los desarrollados para el metro de Quito o para las megatorres eólicas de hormigón en Chile.



Ensayos de solape de armaduras y de anclaje de barras

### Patología, reparación y refuerzo de estructuras

Esta línea se aborda de forma multidisciplinar, atendiendo a los procesos físico-químicos de degradación, a los materiales de reparación y refuerzo y a las técnicas de refuerzo. Alguno de los casos estudiados son la pila del puente de Rande, el deterioro de origen biológico de la depuradora EDAR Bens, o la reparación de la Pedra de Abalar en Muxía, mediante resinas y fibra de carbono. En la actualidad se desarrolla un proyecto de diseño de estructuras de hormigón con armaduras activas y pasivas no metálicas (proyecto Straduravius).

### Desarrollo y aplicación de nuevos materiales

- **Aplicación de materiales compuestos a las estructuras de ingeniería y edificación**

También es una línea de fuerte especialización de gCons, orientada específicamente a la reparación de estructuras o al desarrollo de nuevos tipos constructivos. Destaca el proyecto destinado a reducir la fisuración en depósitos de agua potable (proyecto Afidhavit), o el desarrollo de nuevas estructuras de contención para diques, que contó con la ejecución real de un dique en el puerto de Vilanova de Arousa (proyecto Pilam).



Muelle ejecutado con la técnica pilote-lámina® y ensayo de refuerzo a tracción con lámina de fibra de vidrio

- **Desarrollo de nuevos materiales y nuevas estructuras**

La creciente competitividad del sector, unida a la necesidad de internacionalizar el mercado, ha permitido a gCons colaborar en el diseño y construcción de soluciones constructivas muy novedosas. Entre ellas destacan, por ejemplo, el refuerzo de estructuras mediante materiales con memoria de forma (proyecto Horvital), el desarrollo de estructuras de edificación prefabricadas ligeras y de gran tamaño (proyecto Pretabico), el estudio y construcción de elementos de mobiliario doméstico y urbano de hormigón (proyecto Decocem), el diseño de una nueva vía en placa de hormigón, el desarrollo de diques y pantalanés flotantes de hormigón (proyecto Floating Concrete), o la investigación sobre cimentaciones de torres eólicas en climas árticos (proyecto Artech).



Diseño de nuevas cimentaciones



Diseño de mobiliario con hormigón y vivienda prefabricada con hormigón ligero

### Ensayos a gran escala para caracterizar el comportamiento de estructuras

El grupo dispone de dos laboratorios muy bien dotados. El de Ingeniería de la Construcción en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, muy orientado a la tecnología de materiales, y el de Construcción en el CITEEC, que permite ensayar grandes estructuras gracias a su muro de reacción (de 10 m de altura) y a su losa de carga (de 23 x 14 m<sup>2</sup>). Se realizan ensayos sobre estructuras a gran escala: vigas de 2 m de canto para el estudio del efecto tamaño sobre el cortante (proyecto Horvital, récord de Europa en su género), vigas de 10 m pretensadas para el estudio de la longitud de anclaje de armaduras activas pretesas, galerías de servicio de 2 x 2 x 2 m<sup>3</sup>, cilindros de grafito de 0.5 m de diámetro empleados como electrodos en la industria del silicio, etc.



Ensayos de electrodos de grafito y de anclaje de armaduras pretensadas



Ensayo a cortante de una viga de hormigón de 2 metros de canto (Récord Europeo)



Ensayos a fatiga de sistemas de pretensado y ensayos de aparatos de apoyo de neopreno confinado (Prensa de gran capacidad MTS-15MN)

### Aplicación de técnicas basadas en la inteligencia artificial a la ingeniería y a la edificación

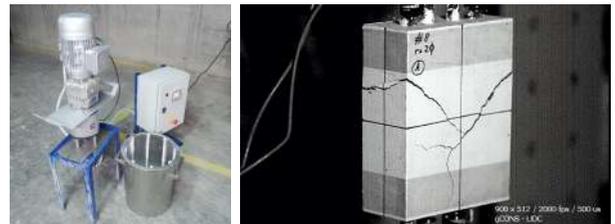
En muchos ámbitos de la construcción se cuenta con muy buenas bases de datos de ensayos. Las bases de datos son fuente de conocimiento y crecen año tras año gracias, entre otros, a los ensayos que desarrolla el grupo gCons. Se emplean con gran éxito técnicas de I.A. (redes neuronales y programación genética, principalmente) para extraer nuevo conocimiento de tales ensayos, siendo posible incluso ajustar expresiones algebraicas capaces de predecir el comportamiento de materiales y estructuras. Algunos de los casos estudiados mediante estas técnicas son la adherencia hormigón-acero (proyecto Adhan), el cortante en vigas de hormigón con o sin armadura, la resistencia del hormigón a partir de su composición (proyecto Metefores), o la durabilidad de presas (proyecto Gestdam).

### Instrumentación y técnicas de ensayo en ingeniería y edificación

El trabajo en dos laboratorios singulares hace preciso disponer de técnicas de instrumentación muy específicas. El grupo gCons se ha especializado en los equipos de instrumentación y medida, llegando a desarrollar sistemas propios patentados. Entre ellos cabe mencionar los basados en técnicas de correlación digital de imágenes (DIC, proyecto Vadema), los empleados en ensayos de hormigones expansivos de larga duración (proyecto Dama), o el reómetro diseñado y construido para determinar los parámetros reológicos del hormigón (proyecto Horreo).



Instrumentación en grandes ensayos en laboratorio o in situ



Desarrollo de reómetro propio e instrumentación mediante técnicas DIC

### Acondicionamiento térmico y acústico en la edificación

La construcción sostenible también se pone de manifiesto en la construcción de edificios con el menor consumo energético. El grupo gCons desarrolla estudios para evaluar la capacidad aislante de materiales y soluciones constructivas diversas (proyecto Caja-Caliente).



Caja-Caliente: medida de propiedades térmicas de materiales y elementos

Coordinación: Fernando Martínez Abella  
fernando.martinez.abella@udc.es  
<http://www.gcons.udc.es/>



### Presentación

El grupo de investigación de Estructuras Arquitectónicas (GEA) centra sus actividades en la difusión del conocimiento, la investigación y los labores de consultoría a empresas, instituciones y profesionales en el ámbito general de las estructuras de edificación, tanto en lo vinculado a la intervención en estructuras existentes como en proyectos de nueva planta.

### Áreas de investigación

- ▶ ESTRUCTURAS SINGULARES
- ▶ ESTRUCTURAS DE MADERA
- ▶ ESTRUCTURAS HISTÓRICAS
- ▶ PATOLOGÍA DE ESTRUCTURAS

#### Estructuras singulares

Ámbito genérico centrado en desarrollar estructuras ligeras de cubierta, de carácter modular y de montaje rápido. Dentro de este grupo es especialmente notable el trabajo desarrollado en estructuras desplegables.

- Análisis de diferentes topologías.
- Incompatibilidades geométricas durante las fases de plegado/desplegado.
- Diseño de nudos.
- Análisis numérico del comportamiento estructural.
- Análisis experimental.
- Desarrollo constructivo.



Diseño de sistemas para estructuras desplegables



Construcciones desplegables y modulares de emergencia



Módulo compacto de estructuras porticadas

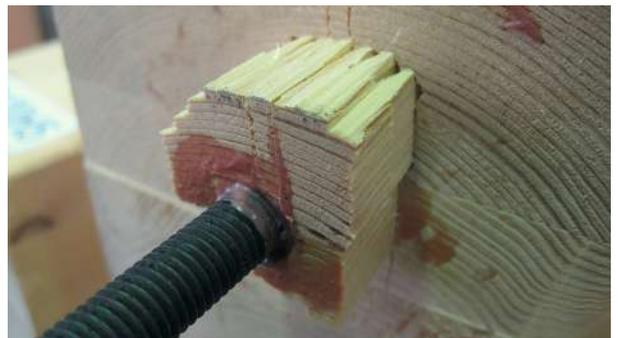
### Estructuras de madera

La investigación en el ámbito de las estructuras de madera comprende fundamentalmente tres líneas de trabajo, dentro de cada una de las cuales se abordaron todos los aspectos de diseño, análisis (tanto numérico como experimental) y desarrollo de soluciones constructivas.

- Mallas especiales de módulos apilables.
- Uniones encoladas de barras roscadas en madera.
- Forjados mixtos de altas prestaciones Glulam+CLT y Glulam+Hormigón.



Mallas espaciales constituidas por barras huecas de madera laminada



Sistemas de mejora del anclaje de barras de acero encoladas en madera



Conectores de sección compuesta Glulam-Hormigón y Glulam+CLT



Forjados de madera de elevadas prestaciones

## Estructuras históricas

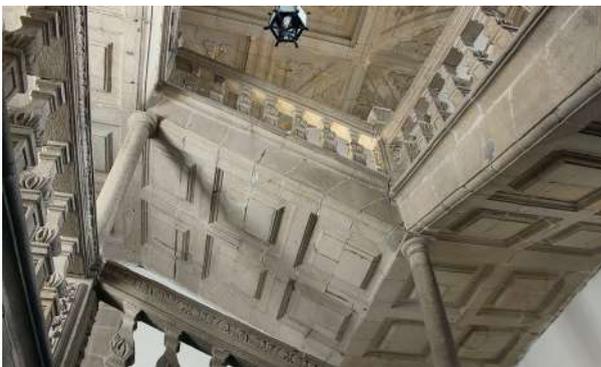
En el campo de las estructuras históricas la investigación comprende dos importantes líneas de trabajo. Por una parte, un extenso estudio de las orientaciones de las iglesias medievales. Por otra parte, todo lo vinculado al análisis estructural y a la patología de este tipo de edificios, al amparo de convenios y colaboraciones con instituciones.



Estudio de las orientaciones de iglesias medievales



Identificación, medida y catalogación de bóvedas pétreas nervadas



Análisis de la problemática estructural de edificios históricos



Rehabilitación de sistemas estructurales en edificios históricos

## Patología de estructuras

Este ámbito comprende el análisis de la patología estructural, la rehabilitación y recuperación de estructuras dañadas y su refuerzo. Igual que en el caso de las estructuras históricas este ámbito de trabajo se vincula a colaboraciones con empresas, instituciones y profesionales.

Dentro de este ámbito también destaca el software Comprobar® desarrollado para la comprobación estructural.



Estudios de patología estructural aplicada



Investigación aplicada sobre los protocolos de evaluación y refuerzo estructural

## Oferta tecnológica

Atendiendo a las líneas de trabajo detalladas, la oferta tecnológica del grupo comprende:

- Proyectos de estructuras de edificación.
- Proyectos de estructuras singulares.
- Informes de patología estructural.
- Rehabilitación y recuperación de estructuras.
- Aplicaciones informáticas de cálculo de estructuras.
- Transferencia de las numerosas patentes desarrolladas en el campo de las estructuras singulares y de las estructuras de madera.

Coordinación: Javier Estévez Cimadevila  
javier.estevez@udc.es  
<http://gea.udc.es>

**GEA**  
grupo estructuras arquitectónicas

### Presentación

El GME centra su trabajo en la docencia, investigación y aplicación práctica de los avances científicos en el campo de la ingeniería de estructuras. Posee una dilatada experiencia en estudios de aerodinámica y aeroelasticidad, análisis no lineal de estructuras, acciones sísmicas, patología de estructuras y diseño óptimo en ingeniería.

### Áreas de investigación

- ▶ AERODINÁMICA Y AEROELASTICIDAD
- ▶ ANÁLISIS SÍSMICO
- ▶ NO LINEALIDAD GEOMÉTRICA Y DE MATERIAL
- ▶ OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS

#### Aerodinámica y aeroelasticidad

En esta área se estudian los movimientos y los esfuerzos en estructuras sometidas a la acción del viento. Entre las estructuras más estudiadas por el GME se encuentran los tableros de puentes de gran vano y el fuselaje de aeronaves.

El viento genera importantes esfuerzos en los tableros de puentes de gran vano, como son los puentes atirantados o colgantes, donde la distancia entre apoyos es lo suficientemente grande para que se considere esta acción en la fase de diseño. El objetivo de esta disciplina es la búsqueda de diseños más eficientes y fiables, lo que conlleva la consideración de variables de forma en la sección del tablero, que es uno de los elementos fundamentales del puente. Esto afecta a su aerodinámica, así como a sus propiedades mecánicas, y en consecuencia a la respuesta aeroelástica del puente.

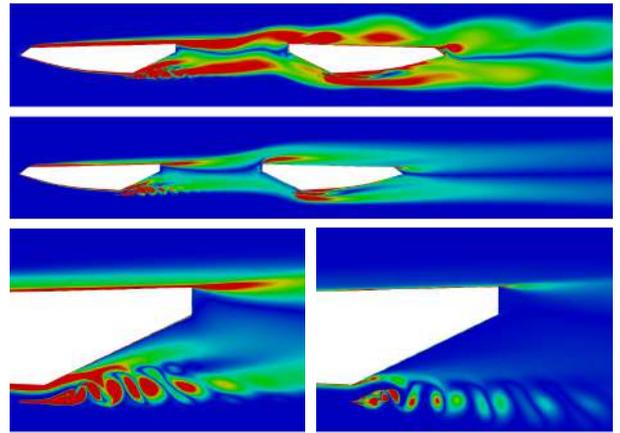
La práctica más común en las últimas décadas para la obtención de la respuesta aerodinámica y aeroelástica de un cuerpo sometido a la acción del viento es la realización de ensayos a escala en túnel de viento. Para eso, el GME dispone de un túnel de viento aerodinámico y un túnel de viento de capa límite en las instalaciones del CITEEC.



Ensayo aeroelástico sobre la sección de un tablero de un puente

Con todo, los avances recientes en la capacidad y potencia de los recursos informáticos permiten el análisis mediante aplicaciones numéricas. Por eso, en la actualidad lo habitual es utilizar procedimientos numéricos para optimizar los puentes de gran vano y las estructuras de fuselaje de las aeronaves, considerando variaciones en la forma e incluyendo condiciones de diseño relacionadas con las respuestas estructurales y aeroelásticas.

Estos modelos facilitan la visualización de la respuesta aeroelástica y aerodinámica, permitiendo la identificación de estructuras en el flujo y la interpretación de fenómenos que están sucediendo alrededor de las geometrías analizadas.



Mapas de vorticidad en secciones de puentes de gran vano multi-cajón simulados en CFD

#### Análisis sísmico

En esta área se estudia el comportamiento de las estructuras ingenieriles frente a acciones sísmicas, concretamente su optimización y fiabilidad. Entre los estudios realizados destacan:

- Comportamiento de aerogeneradores frente acciones sísmicas

Estudio del comportamiento de torres de aerogeneración de hormigón pretensado frente a acciones sísmicas en etapas de premontaje y montaje.

- Análisis sísmico de presas

Estos estudios persiguen la seguridad estructural en presas frente al deslizamiento y vuelco. Para eso, se realizan cálculos de la interacción presa-embalse-cimentación, considerando las cargas sísmicas, térmicas y el empuje hidroestático.

- Cálculo sísmico en teoría lineal y no lineal en puentes

Análisis dinámico de puentes frente a un conjunto de acelerogramas correspondientes al sismo de diseño exigido, teniendo en cuenta efectos no lineales en los apoyos.

#### Túnel de viento aerodinámico

- Dimensiones de la cámara de ensayo:  $1 \times 1 \text{ m}^2$
- Velocidad máxima de ensayo: 30 m/s
- Ensayos para obtener la siguiente información:
  - Coeficientes aerodinámicos:  $C_D, C_D, C_m$
  - Funciones de flameo:  $A^*_b, H^*_b, P^*_i$
  - Comportamiento frente al desprendimiento de vórtices



## No linealidad geométrica y de material

Esta área centra su estudio en el comportamiento no lineal de estructuras. Los elementos más estudiados por el GME son los pilares y las uniones tubulares y adhesivas.

El modelo global de pilares o barras en análisis lineal no suele ser suficiente para determinar el estado tensional de las uniones. Para eso, lo habitual es realizar un modelo local de estas uniones, comprobando, en régimen plástico, cuál es su comportamiento.

El procedimiento a seguir en estos estudios contempla, en primer lugar, la definición geométrica de la estructura completa y los datos de partida; como el tipo de material, las secciones transversales o las hipótesis de carga. En segundo lugar, se elaboran modelos locales de las uniones, así como la aplicación de condiciones de contorno que provienen del modelo global de la estructura para obtener resultados en cada uno de los nudos analizados.



Ensayo en túnel de viento de capa límite de juntas verticales de torres de aerogeneración de hormigón pretensado

### Túnel de viento de capa límite

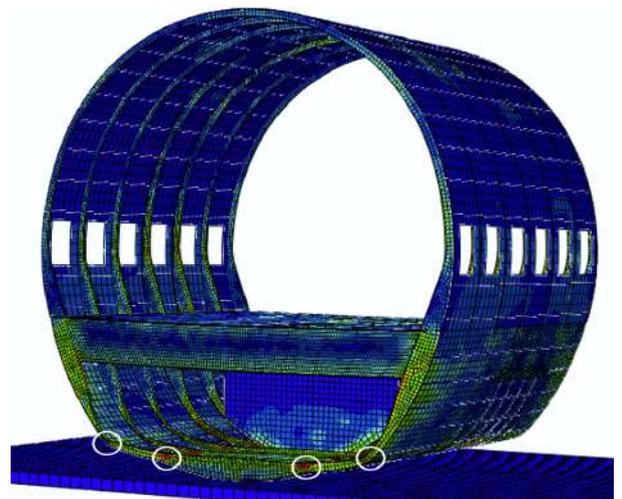
- Dimensiones de la cámara de ensayo:  $3 \times 2 \text{ m}^2 \times 22 \text{ m}$
- Velocidad máxima de ensayo: 25 m/s
- Ensayos para obtener la información siguiente:
  - Perfil de viento según la capa límite atmosférica
  - Coeficientes aerodinámicos:  $C_L$ ,  $C_D$ ,  $C_M$
  - Movimientos, velocidades y aceleraciones de los modelos
  - Reacciones en la base de los modelos



## Optimización de estructuras

En esta área, el GME trabaja en la mejora de los diseños aeronáuticos y la optimización estructural para protección contra impactos. Los trabajos desarrollados por el grupo tratan de estudiar y optimizar numéricamente la respuesta de diferentes partes del fuselaje de aeronaves como, por ejemplo, el uso de tubos metálicos con diferentes rellenos como soportes verticales. En este caso se estudian diferentes configuraciones en nido de abeja de materiales compuestos y bloques de espuma como refuerzo para mejorar la absorción de energía y limitar los picos de fuerza que puedan dañar a los ocupantes.

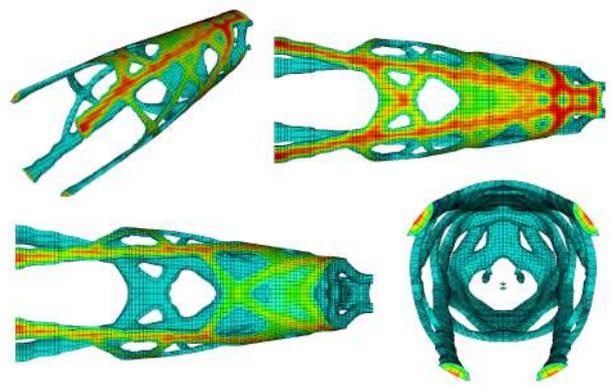
Para determinar los efectos sobre los materiales que absorben los impactos en una aeronave, lo habitual es desarrollar y ajustar una simulación de impacto vertical de una sección del fuselaje. Tras añadir estos materiales y optimizar su diseño, se obtiene una respuesta mejor del fuselaje, aumentando la disipación de energía total y reduciendo las aceleraciones máximas y el nivel de daño en los pasajeros de forma significativa.



Mapa de deformaciones de la estructura de fuselaje de un Boeing 737

Estos trabajos también consideran el análisis de fiabilidad y el diseño óptimo en entornos de incertidumbre con el objetivo de resolver problemas prácticos de estructuras aeroespaciales.

En general, se exponen dos tipos de problemas, cada uno resuelto con un enfoque diferente. El primero aplica a la optimización topológica en entornos de incertidumbre a estructuras aeroespaciales similares a las que se suelen encontrar en un contexto industrial, mientras que el segundo aplica el diseño óptico a componentes aeroespaciales que requieren simulaciones minuciosas y costosas computacionalmente para predecir correctamente su comportamiento.



Modelos de optimización del fuselaje trasero de un avión

Coordinación: Santiago Hernández Ibáñez  
santiago.hernandez@udc.es  
www.gme.udc.es

**ME** MECÁNICA  
DE  
ESTRUCTURAS

### Presentación

El grupo de investigación de Carreteras, Geotecnia y Materiales (CGM) centra sus actividades en el estudio de materiales de firme de carreteras, la geotecnia, la ingeniería del tráfico y la seguridad vial. Los trabajos de investigación se realizan a partir de modelos experimentales y de simulación numérica. Para eso, el CGM cuenta con laboratorios equipados para la investigación de materiales para firmes y para la realización de ensayos con materiales granulares, mezclas bituminosas, suelo-cemento, etc. Además, cuenta con una amplia experiencia en el uso de softwares numéricos para realizar estudios geotécnicos.

### Áreas de investigación

- ▶ FIRMES DE CARRETERAS
- ▶ INGENIERÍA DEL TRÁFICO Y SEGURIDAD VIAL
- ▶ GEOTECNIA

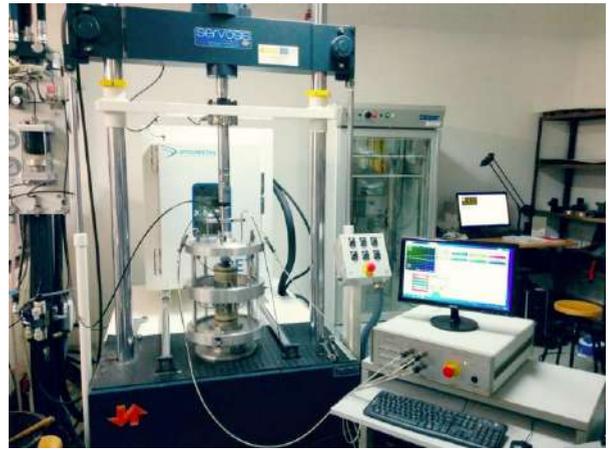
#### Firmes de carreteras

- Mezclas bituminosas en frío y reciclado in situ de firmes de carreteras

El grupo estudia este tipo de mezclas tanto con árido natural (árido convencional de cantera) como con árido reciclado procedente del fresado de carreteras (RAP). En particular, el grupo se centra en resolver los principales inconvenientes de estas tecnologías, tales como acortar su período de maduración al profundizar en el conocimiento de sus propiedades mecánicas.

- Mezclas templadas y semicalientes

Son mezclas que ayudan a colaborar con el desarrollo sostenible, mediante la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, así como otros gases responsables del calentamiento global. El objetivo de esta línea de investigación es el de profundizar en el conocimiento de la dosificación y propiedades de estas mezclas, de elevadas prestaciones, pero de menor temperatura de fabricación.



Máquina de ensayos dinámica ME-401/10 de Servosis

- Reutilización de distintos tipos de residuos y coproductos en obras de infraestructuras lineales

El objetivo de esta línea es analizar la posibilidad de utilizar residuos en la fabricación de diferentes materiales asfálticos (p. ej.: mezclas bituminosas en frío, mezclas bituminosas en caliente, etc.) y estudiar cómo afectan a su comportamiento. Son ejemplos de estos residuos los de construcción y demolición, material procedente del fresado de carreteras, polvo de neumáticos fuera de uso, corcho, etc. El fin último es evitar el agotamiento de los recursos naturales, así como impedir llevar a vertederos materiales de gran valor, favoreciendo la economía circular y el desarrollo sostenible.

- Bioasfaltos

Esta línea consiste en la utilización de modificadores o sustitutos de betunes asfálticos y sus derivados, obtenidos a partir de biomasa o de coproductos industriales de origen vegetal (p. ej.: coproducto rico en lignina, celulosa, etc.).

- Uso de nanomateriales en mezclas bituminosas

Con el fin de mejorar las propiedades mecánicas de los firmes de carreteras, esta línea de investigación analiza los resultados de incorporar nanomateriales, como la nanocelulosa, nanoarcillas, nanosílice, etc., en las mezclas bituminosas.



Prensa servo neumática universal NU14 (Cooper)



Compactador giratorio Superpave Gyrotronic (Gyrotronic) y Compactador de placa Heated Roller



Prensa estática de Ibertest y máquina de pista (Hamburg Wheel tracker)



Molino coloidal para fabricación de emulsiones bituminosas y evaporador rotatorio

## Ingeniería del tráfico y seguridad vial

La investigación en este ámbito comprende el análisis de las condiciones del tráfico y la elaboración de las pertinentes propuestas de mejora, el desarrollo de sistemas dinámicos de gestión del tráfico en autopistas y/o la conducción cooperativa V2X, especialmente en forma de platooning. Además, se trabaja para optimizar nuevos modos de movilidad como el sharing o el MaaS, así como sobre diversas iniciativas encaminadas a la mejora de la seguridad vial.

### ● Análisis de tráfico

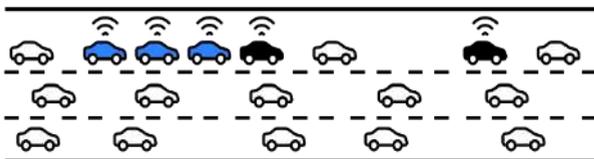
Esta línea comprende la medición de variables de tráfico, empleando sensores dispuestos en la infraestructura o en el vehículo; el procesamiento de las mismas para evaluar las condiciones prevalentes; la identificación de ubicaciones conflictivas, de relaciones bivariadas, de episodios de "capacity drop", etc., y la elaboración de propuestas de mejora necesarias.

### ● Sistemas dinámicos de gestión del tráfico en autopistas

Diseño de técnicas de gestión, operación y control del tráfico en tiempo real. Planteamiento de estrategias dirigidas tanto a la optimización de la capacidad disponible (p. ej.: límites de velocidad dinámicos, asignación dinámica de carril, gestión de incidencias) como al control de accesos (p. ej.: sistemas de información de tiempo de viaje, ramp metering, peajes).

### ● Conducción cooperativa (sistemas V2X, platooning)

Se trabaja en el diseño de estrategias de gestión del tráfico basadas en la cooperación entre vehículos inteligentes, la infraestructura y otras fuentes de datos (ej. teléfonos móviles). En una primera instancia se contemplan entornos mixtos de conducción, en los que vehículos con un alto grado de autonomía compartirán las vías con vehículos tradicionales. Todas las estrategias se encaminan a optimizar el flujo global del tráfico y a minimizar la probabilidad de accidente. Se trabaja además en la implantación de técnicas de eco-driving que contribuyan a la movilidad sostenible, minimizando los consumos y, en su caso, las emisiones. Dentro de esta línea se apuesta por la conducción en forma de platooning, habiéndose demostrado ya las grandes posibilidades que ofrece, como el incremento de la capacidad teórica de las vías. Para todo ello se emplean modelos matemáticos, técnicas numéricas y programas de simulación.



Platoon en carril mixto de autopista (Proyecto COOP)

### ● Movilidad bajo demanda. Sharing, ride-hailing y P2P. MaaS

Todas ellas son formas de transporte emergentes pero con grandes perspectivas de futuro, encaminadas a fomentar la transformación de "propietarios" de vehículos en "usuarios" de vehículos. Por ejemplo, el sharing, ride-hailing y P2P (peer-to-peer) son diferentes sistemas de vehículo compartido, que pueden pertenecer a la flota de una empresa o ser privados. Más disruptiva, la movilidad bajo demanda y su máximo exponente, el MaaS (Mobility as a Service), proporcionan una visión integrada del transporte en la que el usuario, por lo general a través de una aplicación de teléfono móvil, proporcionará sus puntos de origen y destino, y recibirá una combinación ininterrumpida de medios de transporte ajustada en tiempo real. En esta combinación podrán estar incluidos medios de transporte colectivo, taxis, vehículos compartidos, bicicletas, etc., a petición del usuario.

### ● Estudios de seguridad vial

Dentro de esta línea se trabaja en detectar los puntos de concentración de accidentes (tanto en autopista como en carretera), así como las causas de esta accidentalidad, y en definir sus posibles soluciones. De cara al futuro, se investiga en estrategias de conducción cooperativa en consonancia con la Visión Cero Accidentes. En todo caso se analiza el papel del factor humano y de los sistemas de asistencia al conductor de los vehículos en la ocurrencia de un accidente.

## Geotecnia

### ● Túneles y obras subterráneas

Estudio de la problemática de los túneles excavados por cualquier procedimiento (p. ej.: método Belga, método Austríaco, con tuneladora, etc.), y de cualquier otro tipo de excavación subterránea (recintos entre pantallas y estaciones de Metro).

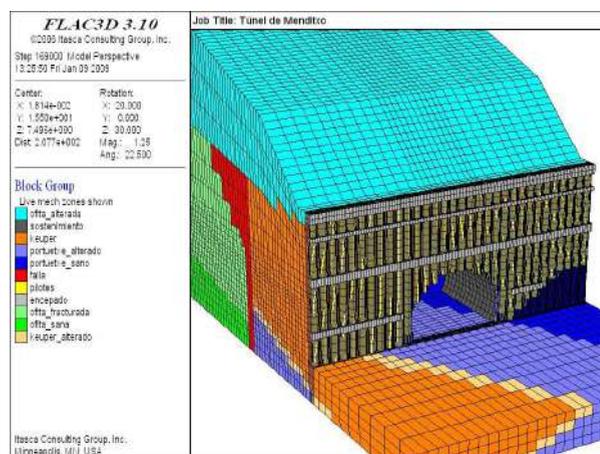
### ● Modelos reológicos de suelos

Estudio de la consolidación secundaria en suelos fangosos, muy frecuentes en obras portuarias.

### ● Modelización numérica de problemas geotécnicos

Estudio y análisis de todo tipo de obras geotécnicas mediante modelos numéricos: cimentaciones superficiales y profundas, geotextiles, tratamientos del terreno, terraplenes, estabilización de taludes, etc.

Los programas utilizados son FLAC3D, PLAXIS 3D, GEOSTUDIO, PFC3D, 3DEC y RIDO.



Modelización con FLAC3D

### ● Comportamiento dinámico de suelos

- Estudio de la propagación de ondas en el terreno y su relación con el comportamiento tenso-deformacional de suelos.
- Amortiguamiento de suelos.
- Estudio de vibraciones en el terreno provocada por el tráfico ferroviario: líneas en superficie y subterráneas.
- Estudio de medidas reductoras de vibraciones basadas en inclusiones en el terreno.
- Modelos computacionales formulados en el dominio del tiempo/espacio para el estudio de propagación de ondas en el terreno.

### ● Modelos constitutivos avanzados para suelos

- Estudio del comportamiento del terreno en función del estado deformacional y su relación con modelos constitutivos del comportamiento del terreno.
- Aplicación de modelos constitutivos avanzados a diferentes problemas geotécnicos: pantallas, vibraciones ferroviarias, túneles, cimentaciones, etc.

Coordinación: Ignacio Pérez Pérez

iperez@udc.es

sites.google.com/site/grupocgmetsicpcoruna



**Presentación**

El Grupo de Ferrocarriles y Transportes (GFT) centra su actividad en la difusión del conocimiento, el fomento de la investigación y la asesoría a empresas e instituciones en todos los campos relacionados con la ingeniería del transporte y la movilidad, así como en aspectos de ingeniería ferroviaria.

**Áreas de investigación**

- ▶ **SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO Y MOVILIDAD SOSTENIBLES**
- ▶ **PLANIFICACIÓN Y MODELIZACIÓN DEL TRANSPORTE**
- ▶ **SUPERESTRUCTURA Y DINÁMICA FERROVIARIA**
- ▶ **LOGÍSTICA Y TRANSPORTE DE MERCANCÍAS**

**Sistemas de transporte urbano y movilidad sostenible**

Las actividades dentro de esta área se centran en los siguientes aspectos:

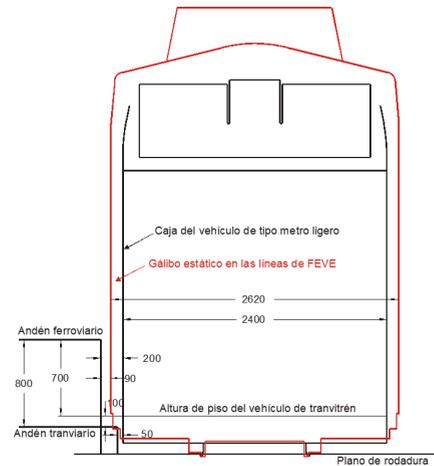
- Actuaciones para alcanzar la movilidad sostenible.
- Integración de modos de transporte metropolitano e interurbano.
- Soluciones tecnológicas y seguridad.
- Integración de sistemas en el espacio urbano.
- Operaciones de sistemas de transporte urbano.

En relación con los puntos anteriores, se trabaja en los siguientes modos de transporte:

- Autobús convencional.
- Autobús de alto nivel de servicio.
- Metro ligero y tranvía.
- Metro.
- Ferrocarril metropolitano.
- Tranvitrén y tren-tranvía.
- Transporte por cable.
- Movilidad ciclista.



Vía de metro ligero en césped en Alicante



Comparación de gálibo de FEVE con vehículo de metro ligero

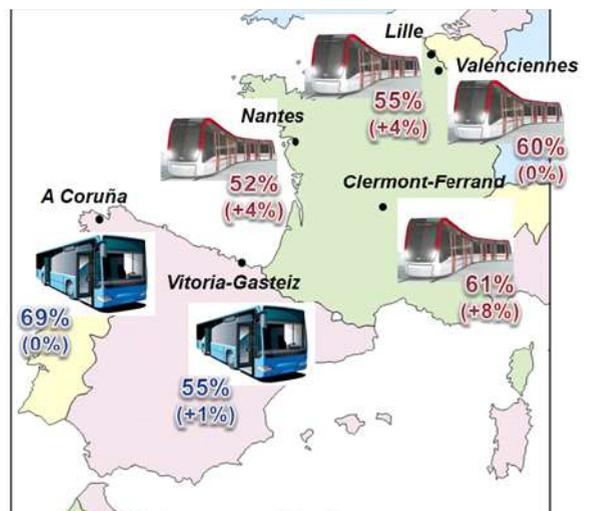
**Planificación y modelización del transporte**

Las principales líneas de trabajo dentro de esta área son las siguientes:

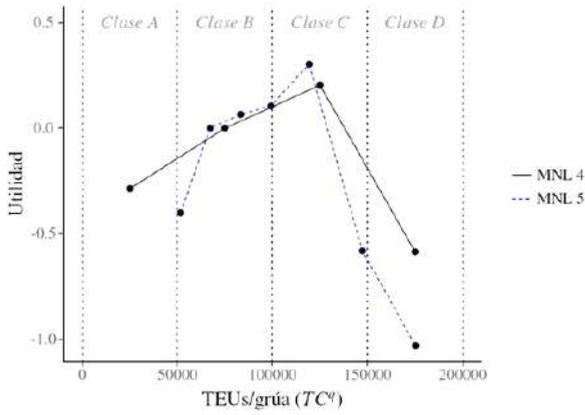
- Planificación de transporte metropolitano, interurbano y regional.
- Modelos de elección discreta en transporte.
- Elección portuaria.
- Modelo clásico de transporte, modelos de asignación de ruta.
- Modelos Land Use Transport Interaction.
- Modelos integrados de demanda y operaciones.



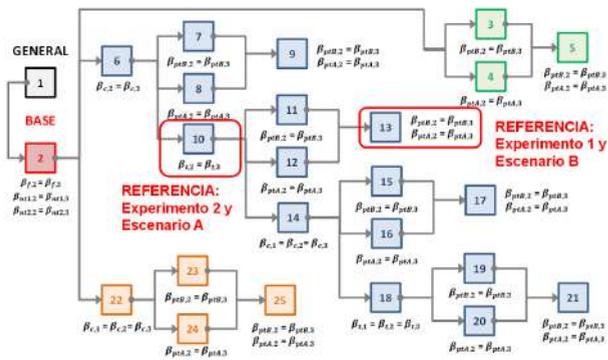
Metro ligero y tranvitrén en Alicante. Sistemas de Bogie



Resultados de preferencia de modo de transporte (metro ligero o autobús de alto nivel de servicio) en diferentes ciudades estudiadas



Grado de uso de las instalaciones portuarias frente a la utilidad de los puertos en estudio. Cuatro y siete clases



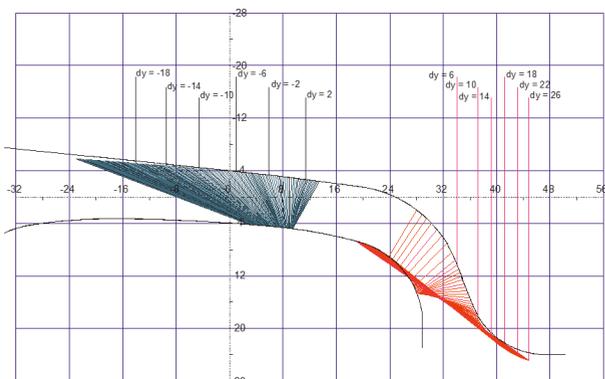
Esquema de los diferentes modelos en función de las especificaciones de utilidad de las alternativas a partir de las especificaciones base

### Superestructura y dinámica ferroviaria

Las principales líneas de trabajo dentro de esta área son las siguientes:

- Diseño, explotación y conservación de desvíos ferroviarios.
- Desgaste de llantas ferroviarias.
- Superestructura de la vía. Vía en placa.
- Simulación de dinámica ferroviaria.

Dentro de este ámbito, se trabaja con programas de simulación dinámica del comportamiento de vehículos ferroviarios (SIMPACK, GENSYS). Además, se dispone de un perfilómetro láser que permite determinar la geometría real de los carriles de la vía en plena vía y en desvíos, así como determinar la geometría real de las llantas de los vehículos ferroviarios.



Simulación de puntos de contacto rueda-carril con GENSYS



Bloque prefabricado para montaje de la sujeción del carril en el prototipo de vía en placa



Cambio de un prototipo de desvío de alta velocidad de concepción íntegramente española

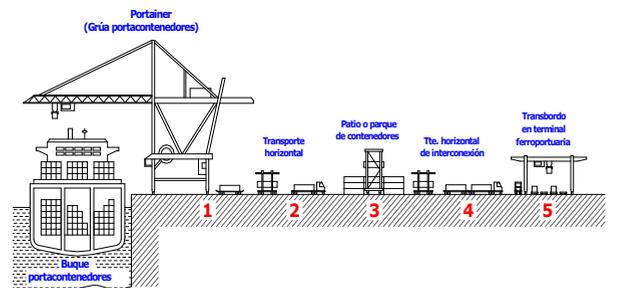
### Logística y transporte de mercancías

Las principales líneas de trabajo dentro de esta área son las siguientes:

- Integración ferrocarril y puerto.
- Último kilómetro.
- Modelización del tráfico de mercancías.



Posibles emplazamientos de terminales ferroviarias respecto a los espacios portuarios



Procesos integrantes del intercambio modal de unidades de carga entre los transportes marítimo y ferroviario

Coordinación: Miguel Rodríguez Bugarín  
 m.bugarin@udc.es  
<http://caminos.udc.es/grupos/ferroca/>



**Presentación**

Los miembros del GRIDP reúnen experiencia profesional en la empresa, en ingeniería y gestión de proyectos. Concretamente, en proyectos de plantas industriales, edificios comerciales, oficinas y edificios corporativos, centros de I+D+i, edificios singulares, minicentrales hidráulicas, redes de gas, instalaciones de regasificación, o parques eólicos y solares, entre otros. También en materia de planificación energética.

Dos de ellos han ocupado puestos técnicos, de gestión y directivos en empresas. Por otro lado, reúnen experiencia académica y en I+D+i en dichos campos, en algunos casos desde hace más de 30 años. También han desempeñado cargos directivos en la administración.

Tienen experiencia en la creación de software de utilidad en los campos aquí reseñados. Además, han trabajado en métodos de apoyo en la toma de decisiones, aplicados a la evaluación, optimización y gestión de la sostenibilidad, las decisiones de contratación, la gestión y respuesta a riesgos y oportunidades en proyectos, y la priorización de inversiones.

En función de ello, el grupo tiene capacidad para:

- Apoyar la concepción y gestión de proyectos como los comentados.
- Comprender las necesidades y circunstancias habituales del personal técnico, de gestión y directivo de empresas y administraciones públicas, en la persecución de sus objetivos.
- Apoyar el desarrollo de proyectos de I+D+i en el marco de dichas organizaciones.
- Ayudar a los equipos de proyecto de empresas y administraciones públicas a ordenar, sintetizar y explotar su conocimiento en aspectos novedosos, para construir con ellos modelos que sirvan para resolver sus problemas.
- Concebir y desarrollar software relacionado con los campos aquí reseñados.
- Realizar tareas de formación en dichos campos.

**Áreas de investigación**

- **EVALUACIÓN, GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD. DISEÑO SOSTENIBLE EN LA CONSTRUCCIÓN Y EN LA INGENIERÍA ENERGÉTICA**
- **PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE. ENERGÍAS RENOVABLES**
- **EVALUACIÓN SOSTENIBLE PARA TOMA DE DECISIONES**
- **DIRECCIÓN DE PROYECTOS**



Planta de regasificación. Fase avanzada de obra (Lara 2007; Mugarbos, Galicia)

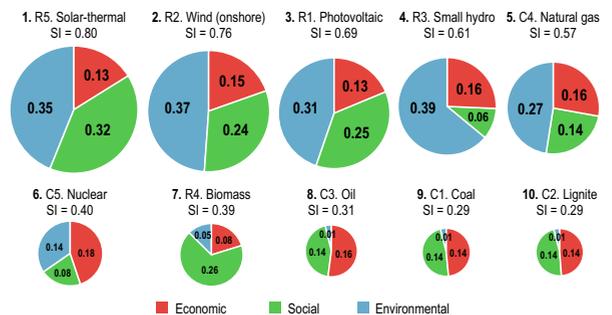
**Evaluación, gestión y optimización de la sostenibilidad. Diseño sostenible en la construcción y en la ingeniería energética**

El grupo puede prestar servicios relacionados con:

- La evaluación de la sostenibilidad.
  - De sistemas constructivos: hormigones, morteros, estructuras, cerramientos, instalaciones de calefacción o climatización, o sistemas de ingeniería urbana, entre otros.
  - De edificios completos.
  - De centrales de producción de energía eléctrica.
- La optimización de la sostenibilidad de componentes constructivos y de sub-sistemas energéticos.
- La gestión de la sostenibilidad en la dirección de proyectos.

Para estos trabajos se pueden emplear:

- Modelos cuantitativos de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de los cuatro pilares de la sostenibilidad, ambiental, social, económico y técnico-funcional, con datos procedentes del cliente y de bases de datos internas y externas.
- Métodos de integración de resultados de ACVs para obtener un índice de sostenibilidad que englobe todos sus pilares, usando técnicas multicriterio de apoyo en la decisión, como el método MIVES (Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles), entre otros.
- Métodos para tratar la incertidumbre, variabilidad, subjetividad y vaguedad inherente a la estimación de indicadores de sostenibilidad: simulación estocástica tipo Monte Carlo, o empleo de matemática difusa.
- Técnicas de Inteligencia Artificial (IA) para la optimización: algoritmos genéticos, enjambres de partículas, o búsqueda realizada por cuervos (crow search algorithm), entre otras.
- Procedimientos propios de gestión del objetivo de sostenibilidad en proyectos.



Evaluación comparativa de la sostenibilidad de centrales de producción de energía con datos de principales países de los 5 continentes (Cartelle et al. 2015; Energy 89:473-489)

En base a los referidos métodos, técnicas y procedimientos, se puede:

- Elegir entre alternativas de proyecto y, en base a ello, realizar diseños de ingeniería con arreglo a criterios de sostenibilidad.
- En el marco de lo anterior, por ejemplo, realizar análisis comparativos de la utilización de materiales de construcción convencionales (p. ej., hormigones o morteros) en relación con el uso de esos mismos materiales empleados como sumidero ambiental (p. ej., hormigones con sub-productos procedentes de residuos de la industria).
- Realizar procesos automatizados de búsqueda del diseño que maximiza el nivel de sostenibilidad de un componente constructivo (p. ej., un elemento estructural) o de un sub-sistema energético (p. ej., un cambiador de calor).
- En materia de sostenibilidad en la dirección de proyectos, apoyar al promotor en el establecimiento de objetivos cuantitativos de sostenibilidad, en la concepción del proyecto sostenible de edificaciones, en la definición e implantación de los adecuados procesos de gestión para cumplir dichos objetivos, y en la certificación de sostenibilidad de su edificio.

## Planificación energética sostenible. Energías renovables

Empleando los métodos y técnicas de evaluación de la sostenibilidad aludidos con anterioridad, se pueden realizar comparativas entre distintos tipos de centrales de producción de energía eléctrica, renovables y no renovables, o entre sistemas ingenieriles a comparar, que empleen diferentes tipos de energía.

Elo ayuda a concebir una adecuada planificación energética, bien en la forma de estrategias energéticas empresariales, o de políticas energéticas públicas. También se puede apoyar a entidades públicas y privadas en estudios de viabilidad; evaluación del recurso; concepción, diseño y gestión de proyectos de parques eólicos y solares, y minicentrales hidroeléctricas.

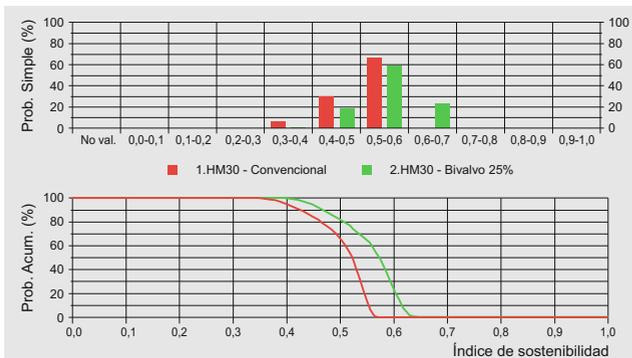


Aplicación informática de evaluación de la sostenibilidad de estructuras de hormigón, realizada para el Ministerio de Fomento (Gómez et al. 2011)

## Evaluación sostenible para toma de decisiones

Teniendo en cuenta los cuatro pilares de la sostenibilidad, y empleando técnicas multicriterio avanzadas de apoyo en la toma de decisiones, se puede ayudar al cliente, entre otros aspectos, a:

- Seleccionar proveedores.
- Seleccionar alternativas en estudios de viabilidad técnico-económico-financieros.
- Priorizar proyectos de inversión (de mantenimiento de infraestructuras, de aumento de la seguridad ante atracos en establecimientos comerciales, o de rehabilitación de patrimonio histórico, entre otras muchas).
- La estimación del nivel de riesgo de impactos de la delincuencia (atraco en establecimientos comerciales, entre otros), o del riesgo intrínseco en infraestructuras existentes, y apoyo en la toma de decisiones correctoras.
- Priorizar carteras de proyectos empresariales.
- Priorizar proyectos de investigación, desarrollo e innovación, como ayuda para el establecimiento de la estrategia de I+D+i de una empresa.



Evaluación probabilista comparativa de la sostenibilidad de hormigones convencionales y con sustitución parcial de agregado por subproductos de residuos industriales (Bordello et al. 2015; Proyecto Biovalvo)



Construcción de parques eólicos pioneros (Lara 1997; Paxareiras, Galicia)

## Dirección de proyectos

En materia de dirección de proyectos, se puede apoyar al promotor en la gestión de los objetivos de alcance, plazo, coste, calidad y sostenibilidad del proyecto. También en la gestión de contratación y compras, de oportunidades y riesgos, de partes interesadas, y de integración (visión global de la planificación y el control del proyecto).

Un problema en el cual el grupo tiene experiencia dilatada es la gestión de la incertidumbre, la subjetividad, la vaguedad, las oportunidades y los riesgos relacionados con el cumplimiento de los objetivos de un proyecto o programa, y sus interrelaciones con el resto de las funciones directivas del proyecto o programa.

En este sentido, el grupo puede apoyar a cualquier organización para que emplee sistemas novedosos de reducción de la incertidumbre, la subjetividad y la vaguedad, y de evaluación y gestión de las oportunidades y riesgos en proyectos, en general, y en especial en proyectos de construcción y energéticos, para sus diferentes sub-procesos de gestión: planificación, identificación de oportunidades y riesgos, análisis cualitativo, análisis cuantitativo, planificación de la respuesta a oportunidades y riesgos, y seguimiento y control.

Otra posibilidad es apoyar al cliente en la definición de sus estrategias de contratación (alcance contractual de cada participante, organización de dichos participantes, tipos de precio contractual, y formas de adjudicación), y en el análisis de sus interrelaciones con el resto de facetas de la dirección de un proyecto, especialmente en materia de riesgos.

Finalmente, se puede ayudar al cliente a crear sistemas de apoyo en la decisión para la dirección de proyectos, en general, y especialmente a efectos de plazo, coste, sostenibilidad, contratación, y oportunidades y riesgos. Estos sistemas de apoyo pueden estar basados en métodos multicriterio de ayuda en la toma de decisiones, o en la lógica difusa.

Coordinación: Alfredo del Caño Gochi  
 alfredo.cano@udc.es  
<https://www.udc.es/gridp/>



## Presentación

El Grupo de Visualización Avanzada y Cartografía centra sus actividades en el conocimiento, la investigación y la aplicación de las tecnologías de la representación gráfica al territorio, las infraestructuras y la construcción, tanto desde el análisis geoespacial mediante Sistemas de Información Geográfica (GIS), como de la visualización de la obra construida o proyectada, el patrimonio histórico, paisajístico y cultural, y de las actividades humanas que en él acontecen.

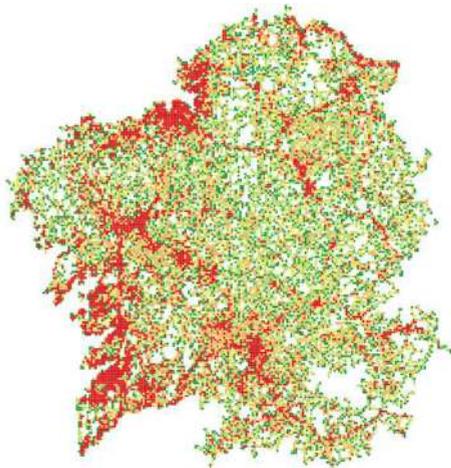
Los ámbitos tecnológicos utilizados para este fin, la cartografía y los GIS por un lado, y la visualización 3D por otro, articulan el grupo en dos laboratorios interrelacionados: el CartoLAB, en el que se desarrollan los trabajos más orientados al tratamiento y análisis de la información geográfica, y el VideLAB, donde se llevan a cabo los proyectos más orientados a la visualización 3D en la construcción.

## Áreas de investigación

- ANÁLISIS GEOESPACIAL DE INFRAESTRUCTURAS
- SISTEMAS CARTOGRÁFICOS DE PARTICIPACIÓN PÚBLICA
- VISUALIZACIÓN AVANZADA EN LA CONSTRUCCIÓN
- RECREACIÓN DEL PATRIMONIO Y ARQUEOLOGÍA VIRTUAL

### Análisis geoespacial de infraestructuras

Todos los elementos vinculados a las infraestructuras territoriales tienen una componente espacial de gran relevancia para su funcionamiento, y la gestión de su mantenimiento. Desde nuestro grupo se elaboran metodologías de análisis y tratamiento avanzado de los datos de estas infraestructuras, especialmente de las viarias, mediante aplicaciones cartográficas para analizar su funcionalidad y permitir una gestión más eficiente, aprovechando diferentes fuentes de información (LiDAR, imágenes satelitales, datos vectoriales, MDT, etc.).



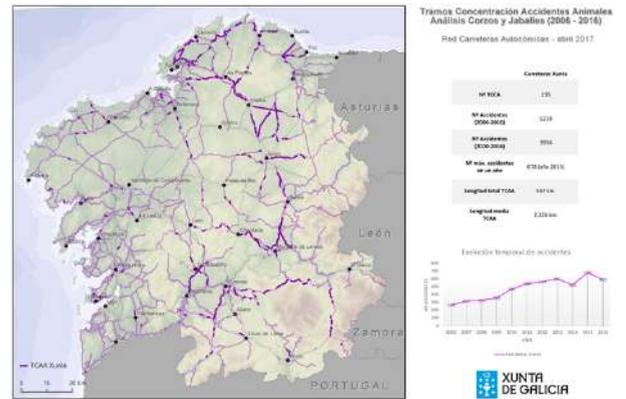
Análisis de impactos de las infraestructuras civiles en la Infraestructura Verde de Galicia



Caracterización de la calidad de los tramos del Camino Francés



Visor de mapas para la gestión de taludes



Identificación de tramos de concentración de accidentes por atropello de jabalís o corzos

### Sistemas cartográficos de participación pública

Las nuevas tecnologías de información geográfica permiten diseñar sistemas cartográficos donde los ciudadanos puedan participar de una forma más directa y eficiente en las políticas públicas de gestión de su ciudad, región o país. Para ello desde nuestro grupo se ha desarrollado un servicio web (<https://emagic.es>) para la elaboración de cuestionarios o encuesta geolocalizados, y mapas de opinión y consulta, donde se facilita a cualquier interesado la posibilidad de interactuar con este tipo de tecnologías.



Ejemplo de funcionalidades de Emagic para la recopilación, análisis y visualización de datos geográficos mediante procesos participativos



Ejemplo de empleo de Emagic para la encuesta de movilidad en Ferrol

## Visualización avanzada en la construcción

Desde el detalle constructivo a la gran infraestructura, la visualización por computador aporta ventajas en todas las fases de la vida del objeto construido, desde la toma de decisiones en las fases preliminares de diseño hasta la ejecución de la obra, su difusión pública y la gestión y mantenimiento posterior.

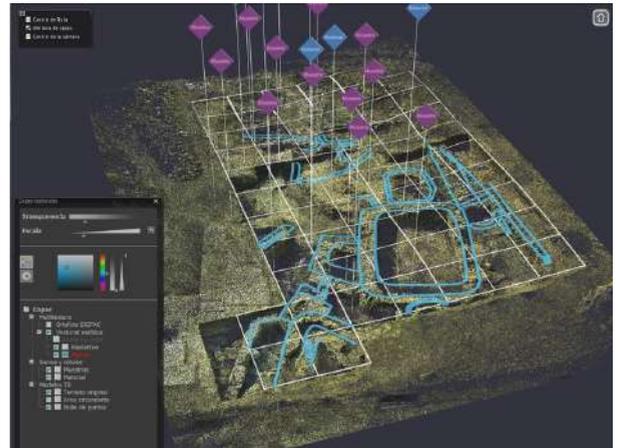
Así, los modelos visuales 3D del proyecto son de gran utilidad en estudios de impacto ambiental, elección de materiales, análisis de iluminación, análisis de alternativas, simulación de procesos, entre muchos otros, sin olvidar la importancia de la difusión pública y la promoción.



Modelo 3D interactivo de la Catedral de Santiago de Compostela



Simulación de desbordamiento del arroyo Albarregas (Mérida)



Sistema híbrido GIS con visualizador 3D para la gestión de excavaciones arqueológicas. Castro de A Lanzada (Pontevedra)

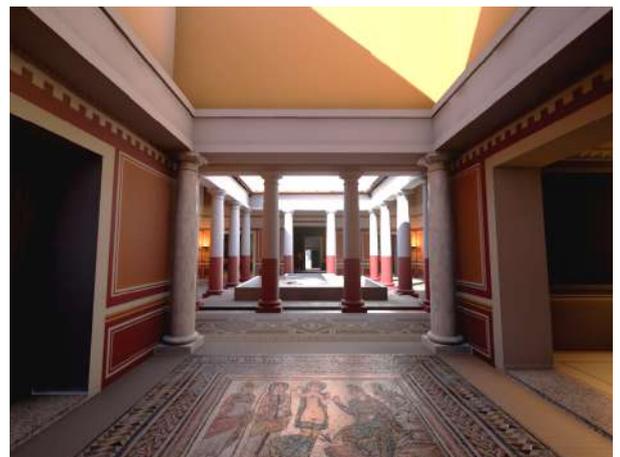


Estudio de alternativas para la autovía Tui – A Guarda

## Recreación del Patrimonio y Arqueología Virtual

El grupo de investigación cuenta con una amplia experiencia en la recreación de elementos patrimoniales, desde la elaboración de modelos tridimensionales realistas de la posible apariencia de los objetos ya desaparecidos hasta el diseño y elaboración de sistemas y entornos para la investigación y difusión en instalaciones museísticas, prestando especial atención al modo de experimentación de los mismos.

En ese sentido, cabe destacar la experiencia del grupo en el diseño e implementación de soluciones sobre dispositivos de interacción natural tales como los basados en análisis de imagen y gestualidad y la incorporación de sistemas de visualización mediante realidad mixta, mundos virtuales, motores de videojuego, etc.



Reconstrucción y simulación en tiempo real de la Villa Romana del Alcaparral (Sevilla)



Estudio constructivo y recreación interactiva del Tholos de Delfos



Instalaciones museísticas: Casa de las Ciencias y Galicia Dixital

Coordinación: Luis Hernández Ibáñez  
luis.hernandez@udc.es  
<https://vac.udc.es>



### El CITEEC como elemento diferenciador

Situado en el Campus de Elviña de la Universidade da Coruña, El Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Enxeñaría Civil (CITEEC) es una infraestructura singular a la vanguardia internacional de la tecnología y la experimentación en ingeniería civil y edificación, y pone a disposición de la Agrupación sus instalaciones y equipos, capaces de abordar ensayos de gran envergadura al nivel de los centros más avanzados de la Unión Europea.



Laboratorio de Construcción



Laboratorio de Hidráulica



Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental



Laboratorio de Puertos y Costas



Laboratorio de Carreteras y Geotecnia



Túneles de Viento para ensayos Aeroelásticos y Capa Límite



Laboratorio de Ingeniería Ferroviaria y Transportes



Laboratorio de Métodos Numéricos



Laboratorio de Mecánica de Rocas

# INGENIERÍA CIVIL Y EDIFICACIÓN SOSTENIBLES E INNOVADORAS

[www.agrupacionciteec.udc.es](http://www.agrupacionciteec.udc.es)



## Agrupación estratégica

Centro de Innovación Tecnológica  
en Edificación e Enxeñería Civil

## Dircción

Campus de Elviña, s/n  
15071 A Coruña

## Contacto

T: 881 015 178 - 881 015 179  
E: [agrupacion.citeec@udc.es](mailto:agrupacion.citeec@udc.es)



| F: 981 167 179