

Convocatoria de Ayudas Beatriz Galindo

Documento B: Proyecto de necesidad docente de la Universidad y que deberá realizar quien sea seleccionado con la resolución de concesión

Institutional Framework. This **teaching development Project** is framed within the Universidad Politécnica de Valencia (UPV), an institution prominently ranked among the world's leading universities. The scope of the UPV can be summarized with the following figures¹: it comprises 13 schools and faculties, 42 departments, and a Doctoral School (308 theses defended last academic year), 23 University Research Institutes, 43 undergraduate degrees, 14 dual undergraduate degrees, 84 master's degrees, and 17 dual master's degrees, 23 proprietary research structures, and 31 doctoral programs. The Teaching and Research Staff consists of 2,638 individuals, alongside 1,487 workers in administrative and support roles. Last academic year, the UPV trained a total of 22,509 undergraduate students, 5,879 master's students, and 2,819 doctoral students.

The Field of Informatics at the UPV. The field of **Computational Science and Engineering (CSE)** at the UPV is fundamental to this project and includes, notably, the **Technical School of Computer Engineering (ETSInf)** and the **Department of Computer Systems and Computing (DSIC)**.

The **ETSInf** is responsible for the following undergraduate programs: Bachelor's Degree in Computer Engineering, Bachelor's Degree in Data Science (approved on Sept. 2018), Bachelor's Degree in Industrial Computing and Robotics (approved on Aug. 2022), Dual Bachelor's Degree in Computer Engineering and Business Administration, Dual Bachelor's Degree in Computer Engineering and Mathematics (launched in the 2022-2023 academic year), Dual Bachelor's Degree in Data Science and Industrial Organization Engineering (launched in the 2023-2024 academic year); and the following master's programs: University Master's (*Máster Universitario* or MU) in Computer Engineering, MU in Cybersecurity and Cyberintelligence (approved on 11/09/2020), MU in Digital Humanities (approved on 04/08/2023), and Dual MU in Computer Engineering + Cybersecurity and Cyberintelligence. Up to 11 departments contribute to teaching activities within the ETSInf.

The **DSIC** is responsible for teaching and research activities in the fields of Languages and Computer Systems, and Computer Science and Artificial Intelligence (AI). The DSIC is a department with significant influence within the UPV (notably due to its large number of teaching staff, 151 across three campuses). It offers a total of 273 courses across 18 undergraduate degrees and 7 master's programs (including the three master's programs it oversees), as well as dual degrees and the doctoral program in Computer Science at 13 different UPV centers. The DSIC itself serves as the Responsible Structure for the Degree (*Estructura Responsable del Título* or ERT) for three master's programs. To organize teaching, the Department is divided into 14 Teaching Units (*Unidad Docente* or UD). Each UD groups a set of first- and second-cycle courses with related thematic content. In the context of this Project, the following two are noteworthy: the **UD of Numerical Computing** and the **UD of the Master's in Cloud and High-Performance Computing (MUCNAP)**.

¹ Report for the 2023-2024 academic year (<https://www.upv.es/entidades/SG/infoweb/sg/info/U0964453.pdf>).

The **UD of Numerical Computing** is responsible for teaching courses on numerical and high-performance computing across the entire UPV. It includes 8 subjects, grouped according to the following academic programs:

- In the Computer Engineering Degree (ETSInf): *Parallel Computing*, *Cloud and High-Performance Computing*, and *Scientific Computing*.
- In the Master's Degree in Computer Engineering (ETSInf): *High-Performance Computing*.
- In the Physics Engineering Degree (ETSIT): *Programming for Science and Technology* and *Computing*.
- In the Master's Degree in Computational Fluid Mechanics (School of Aerospace Engineering and Industrial Design – ETSIADI): *High-Performance Computing Environments*.
- In the Civil Engineering Degree (School of Civil Engineering – ETSICCP): *Numerical Methods of Mathematical Physics*.

The **Master's in Cloud and High-Performance Computing (MUCNAP)** is one of the three master's programs under the responsibility of the DSIC as its ERT. The **UD of MUCNAP** encompasses all the courses taught by the DSIC within this degree program. Its goal is to train professionals capable of developing, evaluating, and executing parallel programs for high-performance computing systems, high-productivity Grid/Cloud environments, public cloud and on-premises infrastructures, and containerized infrastructures. The program's content is organized into four areas of knowledge, which also represent the research lines pursued by the professors teaching the program: **Parallel Computing**, Grid and Cloud Technologies, Distributed Systems and High-Availability Systems, and **Computational Sciences**. Teaching is structured into three modules, each worth 16 credits, plus a Master's Final Project (*Trabajo Fin de Máster* or TFM) worth 12 credits. The first two modules are mandatory, and the subjects are divided into two equal groups: a) Grid and Cloud Computing; and b) **High-Performance Computing**. The third module consists of elective subjects. Of the 11 two-credit elective courses offered by the DSIC within this module, the following are noteworthy: *Applications of Scientific Computing in Engineering*; *High-Performance Computing in Optimization and Simulation Problems*; *Software Environment Optimization for AI*, and *GPU Programming with CUDA and OpenCL*. These align with the **High-Performance Computing** focus area.

Needs. Regarding the **UD of Numerical Computing**, three different aspects characterize the identified needs:

1. Among the 8 courses included in this UD, the course *Parallel Computing* serves more than 400 enrolled students. Currently, 9 professors are involved in teaching this course.
2. This UD includes courses that address specific and highly specialized knowledge, situated at the intersection of high-performance computing and the scientific applications that benefit from it. In some cases, these courses (e.g., *Scientific Computing*) are oriented toward students from the field of computer science; in other cases, the students are engineers specializing in a specific branch (e.g., *Programming for Science and Technology* and *Computing* for Physics Engineering students; *High-Performance Computing Environments* for Aerospace Engineering students; *Numerical Methods of Mathematical Physics* for Civil Engineering students). Having

professors capable of delivering instruction tailored to such diverse groups of students is challenging, as it requires very specific and profound expertise in the tools provided by high-performance computing and the scientific problems these tools address. These problems are often unique to each branch of engineering (e.g., mathematical modeling and numerical methods applied to solving partial differential equations, which can vary depending on the engineering discipline).

3. There is a significant and growing demand for subjects of this nature. This trend can be observed in the approval dates of the programs or the start dates of the subjects mentioned in the preceding paragraphs, where up to 3 of the 8 courses in this UD were introduced in the last 3 academic years. This is a clear indicator of the increasing teaching demand in this field of knowledge, reflecting, among other factors, UPV's dynamic approach to generating highly specialized knowledge and its effectiveness in attracting students to these programs. However, it also represents a considerable teaching effort in creating and delivering these new courses, which has fallen on the same unchanging group of professors within this UD. Moreover, in the upcoming 2025-2026 academic year, a new subject, *High-Performance Computing*, will be launched. This mandatory course for the 5th year of the dual degree in Mathematics and Computer Engineering (ETSInf) is part of the Numerical Methods and Computer Science *subject set*².

Current Context. The socio-economic interest in computer science and its studies has become increasingly evident, primarily driven by advancements in AI and its transformative impact on virtually every other field of science and technology. Interest in the MUCNAP program is closely tied to this phenomenon, either because the "Cloud" is a common environment where AI models are executed or because high-performance computing is more critical than ever to meet AI's immense computational demands. An indicative measure of this trend is the **supply-to-demand ratio** for the MUCNAP program, which has more than doubled in the last four years, increasing from 240% in the 2020-2021 academic year to 527.27% in 2023-2024. This heightened interest and demand for the program have led to an expansion in the curriculum: in the current academic year (2024-2025), MUCNAP has introduced three new elective courses (*Optimization of Software Environments for AI*, *GPU Programming with CUDA and OpenCL*, and *Technologies for the Computational Continuum*). MUCNAP's academic activities have a significant impact on the local socio-economic environment. It is increasingly common for master's students to engage in **internships**, both during the academic term and as part of their TFM. Frequently, the TFM is conducted in a real **corporate setting** under the guidance of faculty members, in coordination with company supervisors. Notably, computer vision companies in the Valencia region rely on MUCNAP students, some of whom even undertake industrial doctoral theses in high-performance computing within these companies.

Tasks for the Candidate. After outlining the context and needs, the following tasks have been identified as necessary for this **teaching development Project**:

- Support and contribute to teaching high-performance computing and numerical methods in engineering within the **UD of Numerical Computing** and the **UD of MUCNAP**, engaging in both existing courses and those planned for future implementation.

² The subjects at the UPV are grouped into subject sets, within which they have some kind of correlation and coordination.

- Supervise undergraduate and master's theses. Given the increase in MUCNAP student enrollment, it is essential to offer and supervise TFMs in high-performance computing and numerical methods.
- Offer new courses in undergraduate and master's programs. In particular, both in MUCNAP and other UPV programs, it is advisable to expand elective course offerings in high-performance computing and numerical methods, addressing applications of Partial Differential Equations (PDEs) and computational support methods, such as incorporating the Julia³ programming language into the development flow for these applications. These offerings could also extend to doctoral-level courses open to all UPV students, enhancing cross-disciplinary training for engineering doctoral students who have not yet had the opportunity to learn these tools.
- Propose and supervise doctoral theses. Leverage the candidate's experience and international connections in fields related to CSE, particularly high-performance computing and AI, to facilitate opportunities for UPV doctoral students to participate in international conferences and workshops, undertake temporary research stays at renowned R&D institutions, and secure internships at technology companies like Microsoft or NVIDIA.
- Organize talks and seminars for the university community to promote and teach high-performance computing tools. These would enable tackling complex scientific problems with high computational demands, such as solving PDEs and creating new AI models.
- Develop synergistic strategies with other departments and educational programs at R&D institutions. For example, collaborations could include the Master's in Numerical Methods in Engineering organized by the School of Civil Engineering at the Polytechnic University of Catalonia (UPC) and the International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), or the Master's in High-Performance Computing organized by UPC and the Barcelona Supercomputing Center (BSC).
- Establish a research and teaching line within the DSIC in HPC applied to CSE. This initiative would extend the benefits of this discipline to both teaching and its application in the local economic environment. A key objective of this line would be to foster synergies with other UPV departments (e.g., Department of Computer Systems – DISCA, and Department of Applied Mathematics – DMA) to improve teaching quality across the university's schools.

³ See, e.g., report <https://arxiv.org/abs/2211.02740>, which describes the potential of Julia as a catalyst for teaching and research in CSE, HPC and AI.

Marco institucional. Este **proyecto de necesidad docente** se enmarca en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), una institución destacada en los principales rankings competitivos del mundo. La envergadura de la UPV se puede resumir en los siguientes números⁴: comprende 13 escuelas y facultades, 42 Departamentos y una Escuela de Doctorado (308 tesis leídas el curso pasado), 23 Institutos Universitarios de Investigación, 43 Grados, 14 Dobles Grados, 84 Másteres y 17 Dobles Másteres, 23 estructuras propias de investigación y 31 programas de doctorado. El Personal Docente e Investigador lo comprenden 2.638 personas y 1.487 trabajadores como personal de administración y servicios. La UPV formó el curso pasado a un total de 22.509 estudiantes de Grado, 5.879 estudiantes de Máster y 2.819 estudiantes de Doctorado.

El ámbito de la Informática en la UPV. El ámbito de las **Ciencias e Ingenierías Computacionales (Computational Science and Engineering o CSE)** en la UPV es básico en este proyecto y lo comprenden, entre otros pero de manera particular, la **Escuela Superior de Ingeniería Informática (ETSIInf)** y el **Departamento de Sistemas Informáticos y Computación (DSIC)**.

La **ETSIInf** es responsable de los siguientes Grados: Grado en Ingeniería Informática, Grado en Ciencias de Datos (aprobado el 07/09/2018), Grado en Informática Industrial y Robótica (aprobado el 05/08/2022), Doble Grado en Ingeniería Informática y Administración y Dirección de Empresas, Doble Grado en Ingeniería Informática y Matemáticas (inicio en el curso 2022-2023), Doble Grado en Ciencia de Datos e Ingeniería de Organización Industrial (inicio en el curso 2023-2024); y de los siguientes Másteres: Master Universitario (MU) en Ingeniería Informática, MU en Ciberseguridad y Ciberinteligencia (aprobado el 11/09/2020), MU en Humanidades Digitales (aprobado el 04/08/2023), Doble MU en Ingeniería Informática + Ciberseguridad y Ciberinteligencia. Hasta 11 son los departamentos que imparten docencia en la ETSInf.

El **DSIC** es responsable de la actividad docente e investigadora en las áreas de conocimiento de Lenguajes y Sistemas Informáticos y Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial. El DSIC es un departamento con un importante peso específico en la UPV (mayor por número de docentes, 151 repartidos en tres campus) e imparte un total de 273 asignaturas en 18 titulaciones de grado y 7 másteres (incluyendo los 3 másteres de los que es responsable), además de dobles grados y del programa de doctorado en Informática, en 13 centros distintos de la UPV. El propio DSIC es la Estructura Responsable del Título (ERT) de tres titulaciones de Máster. Para organizar la docencia el Departamento se encuentra dividido en 14 Unidades Docentes (UD). Cada UD agrupa un conjunto de asignaturas de primer y segundo ciclo con un contenido temático relacionado. Entre ellas cabe destacar en el contexto de este Proyecto de necesidad Docente las dos siguientes: la **UD de Computación Numérica** y la **UD del Máster en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones (MUCNAP)**.

La **UD de Computación Numérica** es la encargada de impartir las materias de computación numérica y de altas prestaciones en toda la UPV. Comprende 8 asignaturas, agrupadas en función del programa formativo de la siguiente manera:

- en el Grado de Informática (ETSIInf) se imparten *Computación Paralela*, *Computación en la nube y de altas prestaciones* y *Computación científica*;

⁴ Memoria Académica del Curso 2023-2024 (<https://www.upv.es/entidades/SG/infoweb/sg/info/U0964453.pdf>).

- en el MU de Ingeniería Informática (ETSInf) la asignatura de *Computación de altas prestaciones*;
- en el Grado de Ingeniería Física (ETSIT) las asignaturas *Programación para ciencia y tecnología* y *Computación*;
- en el M. U. en Mecánica de Fluidos Computacional (E.T.S. de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial – ETSIADI) la asignatura *Entornos de computación de altas prestaciones*;
- y en el Grado en Ingeniería Civil (E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos) la asignatura de *Métodos Numéricos de la Física Matemática*.

El **MU en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones (MUCNAP)** es uno de los tres másteres que pertenecen al DSIC como ERT. La **UD de MUCNAP** comprende todas las asignaturas que imparte del DSIC en esta titulación. Tiene como objetivo formar profesionales con capacidades para desarrollar, evaluar y ejecutar programas paralelos para sistemas de computación de altas prestaciones, entornos Grid/Cloud de computación de alta productividad, infraestructuras en la nube pública y on-premise e infraestructuras de contenedores. Los contenidos del título están englobados en cuatro áreas de conocimiento, que representan, a su vez, las líneas de investigación en las que trabajan los profesores que imparten clase en el título: **Computación Paralela**, Tecnologías Grid y Cloud, Sistemas Distribuidos y Sistemas Altamente Disponibles, y **Ciencias Computacionales**. La docencia se estructura en tres módulos, de 16 créditos cada uno, más un Trabajo Final de Máster (TFM) de 12 créditos. Los dos primeros módulos son obligatorios y las materias que se imparten se dividen en dos grupos iguales: a) Computación Grid y Cloud; y b) **Computación de Altas Prestaciones**. El tercer módulo lo forman asignaturas optativas. De las 11 asignaturas de 2 créditos que oferta el DSIC en el módulo de optativas destacamos: *Aplicaciones de la Computación Científica en la Ingeniería*, *Computación de Altas Prestaciones en Problemas de Optimización y Simulación*, *Optimización de Entornos Software para Inteligencia Artificial*, y *Programación de GPUs con CUDA y OpenCL*, que se corresponden con la línea de **Computación de Altas Prestaciones**.

Necesidades. En cuanto a la **UD de Computación Numérica** podemos diferenciar tres aspectos diferentes que caracterizan las necesidades identificadas:

1. Dentro de las 8 asignaturas incluidas en esta UD, la asignatura *Computación Paralela* atiende a más de 400 alumnos matriculados. La docencia de esta asignatura involucra actualmente a 9 profesores.
2. En esta UD existen asignaturas que tratan conocimientos concretos y muy especializados, que discurren por la frontera existente entre la computación de altas prestaciones y las aplicaciones científicas que se benefician de esta. En algunos casos, estas asignaturas (p.e., *Computación Científica*) se imparten de manera orientada a estudiantes del ámbito informático; en otros casos, su alumnado está formado por ingenieros especializados en alguna rama específica (asignaturas *Programación para Ciencia y Tecnología*, y *Computación* para estudiantes de Ingeniería Física; asignatura *Entornos de Computación de Altas Prestaciones* para estudiantes de Ingeniería Aeronáutica; asignatura *Métodos numéricos de la Física Matemática* para estudiantes de Ingeniería Civil). Disponer de profesores capacitados para encarar una docencia dirigida a conjuntos de estudiantes tan heterogéneos no es sencillo ya que requiere capacidades y conocimientos muy concretos y profundos en las herramientas que ofrece la computación de altas prestaciones y los problemas científicos a los que se aplican estas herramientas que son, a su vez y a menudo, particulares de cada rama de

la ingeniería (p.e., modelización matemática y los métodos numéricos aplicados a la resolución de ecuaciones en derivadas parciales - EDPs, que pueden ser diferentes en función de la ingeniería).

3. Asistimos a una notable y creciente demanda de asignaturas de estas características. Puede observarse, bien por la fecha de aprobación del título bien por el curso de comienzo de las asignaturas que hemos indicado en los párrafos precedentes, que hasta 3 de las 8 asignaturas de esta UD han comenzado su andadura en los 3 últimos cursos académicos. Esto representa un indicativo claro de una creciente necesidad docente en este ámbito del conocimiento, resultado, entre otras cosas, de una actitud dinámica de la UPV en la generación de conocimiento altamente especializado y muy efectiva, además, en la atracción de alumnado que accede a esta formación. Sin embargo, también representa un esfuerzo docente en la creación e impartición de estas nuevas asignaturas, que ha recaído en el mismo conjunto invariante del profesorado de esta UD. Es más, el próximo curso 2025-2026 se pone en marcha una nueva asignatura, *Computación de Altas Prestaciones*, obligatoria de 5º curso del doble grado en Matemáticas e Ingeniería Informática (ETSInf) dentro de la *materia* Métodos Numéricos e Informática⁵.

Contexto actual. Actualmente, resulta evidente el interés socioeconómico que suscita la informática y sus estudios, principalmente motivado por la irrupción de los avances en Inteligencia Artificial (IA) y los avances inducidos por esta prácticamente en cualquier otro campo de la ciencia y la tecnología. El interés por estudiar en el MUCNAP está estrechamente relacionado con este fenómeno, bien porque la “Nube” constituye un entorno frecuente en el que se ejecutan los modelos de IA, bien porque la computación de altas prestaciones es más necesaria que nunca para abordar la ingente demanda computacional de la IA. Indicativo de lo anterior es la **tasa de relación entre la oferta y la demanda** del MUCNAP, que se ha más que duplicado en los últimos 4 años pasando del 240% en el curso 2020-2021 al 527,27 % del curso 2023-2024. Este interés y crecimiento en la demanda del título ha producido como resultado que en el curso actual (2024-2025) el MUCNAP haya ampliado su oferta de asignaturas con 3 optativas nuevas (*Optimización de Entornos Software para Inteligencia Artificial*, *Programación de GPUs con CUDA y OpenCL*, y *Tecnologías para el Continuo Computacional*). La actividad docente del MUCNAP tiene un impacto notable en el entorno socioeconómico más cercano. Es cada vez más frecuente que los alumnos del máster realicen **prácticas en empresa**, tanto durante el periodo lectivo como para realizar el TFM. Es cada vez más usual la realización del TFM en un **entorno empresarial** real bajo la dirección de profesores del título en coordinación con responsables del TFM en la empresa. En particular, existen empresas de visión por computador en el entorno valenciano que se nutren de estudiantes del MUCNAP, incluso realizan la tesis doctoral industrial en materia de computación de altas prestaciones en la propia empresa.

Tareas a realizar por el candidato. Explicado el entorno y las necesidades, pasamos a enumerar las tareas concretas que se identifican como necesarias en este **proyecto de necesidad docente**:

- Apoyar y contribuir a la docencia de la computación de altas prestaciones y de métodos numéricos en la ingeniería dentro de las **UD de Computación Numérica** y de la **UD del MUCNAP**, involucrándose tanto en las asignaturas existentes como en las de nueva creación que están planificadas.

⁵ Las asignaturas en la UPV están agrupadas en materias, dentro de las cuáles tienen algún tipo de correlación y coordinación.

- Ofertar y dirigir TFGs y TFM. Con el incremento del alumnado en el MUCNAP, la oferta y dirección de TFM en este título que estén relacionados con la computación de altas prestaciones y métodos numéricos es fundamental.
- Ofertar nuevas asignaturas en títulos de grado y máster. En particular, tanto en MUCNAP como en otros títulos de la UPV convendría ampliar la oferta en asignaturas optativas de computación de altas prestaciones y métodos numéricos que permitan abordar aplicaciones de EDPs y métodos computacionales de apoyo como la utilización del lenguaje de programación Julia⁶ en el flujo de desarrollo de este tipo de aplicaciones. Esta oferta se extendería a cursos de doctorado, abiertos a todo el estudiantado de la UPV, y que complementarán sin duda la formación transversal de doctorado en diversas ramas de la ingeniería que no se haya tenido antes la oportunidad de aprender estas herramientas.
- Proponer y dirigir tesis doctorales. Aprovechar la experiencia y las relaciones internacionales del candidato en líneas relacionadas con las CSE, en particular, con la computación de altas prestaciones y la IA para facilitar oportunidades a estudiantes de doctorado de la UPV para la participación en conferencias y talleres internacionales, así como para realizar estancias temporales de investigación en instituciones de I+D+i de calado e internships en empresas tecnológicas, como p.e., Microsoft o NVIDIA.
- Organizar charlas y seminarios dirigidos a toda la comunidad universitaria para la promoción y aprendizaje de herramientas de computación de altas prestaciones que permitan abordar problemas científicos complejos de alta demanda computacional como la resolución de EDPs y la creación de nuevos modelos de IA.
- Crear estrategias sinérgicas con otros departamentos y programas educativos de otras instituciones I+D+i, como, p.e., el Máster en Métodos Numéricos en Ingeniería organizado por la escuela de caminos de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería (CIMNE), o el Máster en Computación de Altas Prestaciones organizado por la UPC y el Barcelona Supercomputing Center (BSC).
- A medio/largo plazo, se espera la creación de una línea de investigación/docente dentro del DSIC en computación de altas prestaciones aplicadas a las CSE que extienda los beneficios de esta disciplina, tanto a la docencia como a su aplicación en el entorno económico cercano. Un objetivo de esta línea es la de crear sinergias con otros departamentos de la UPV (p.e. Departamento de Sistemas y Computadores - DISCA y Departamento de Matemática Aplicada - DMA) que mejoren la calidad docente en las diferentes escuelas de la UPV.

⁶ Ver, p.e., el informe <https://arxiv.org/abs/2211.02740> que recoge el potencial de Julia como catalizador para la docencia e investigación en CSE, HPC y AI.