



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Entornos Eco-Eficientes para el Desarrollo de Actividades Docentes (PINN-19-A-013)

Convocatoria de los Proyectos de Innovación Docente 2019

Elías Fernández-Combarro Álvarez – efernandezca@uniovi.es- Departamento de Informática

Raquel Cortina Parajón – raquel@uniovi.es- Departamento de Informática

José Ranilla Pastor – ranilla@uniovi.es- Departamento de Informática

Palabras clave: Prácticas informáticas, eco-eficiencia, enseñanza no presencial, estudio autónomo

Tipo de proyecto

Tipo A (PINN-19-A)	X
--------------------	---

Tipo B (PINN-19-B)	
--------------------	--

En este apartado decir el tipo de proyecto (Tipo A o Tipo B) y únicamente en caso de ser de tipo B, describir las ampliaciones y novedades con respecto a los proyectos anteriores de los cuales es continuación y la referencia al proyecto previo.

Resumen / Abstract

El presente proyecto de innovación docente se ha centrado en el desarrollo de un entorno para la realización de prácticas informáticas en varias asignaturas de titulaciones en informática de la Universidad de Oviedo con dos objetivos principales: maximizar la Calidad de Servicio (*Quality of Service*, QoS) para la realización de prácticas y trabajos por parte del alumnado, habilitando la posibilidad de acceso 24x7 a los recursos computacionales, y, al mismo tiempo, minimizar el consumo eléctrico y la huella de carbono generada por dichos ordenadores. Estos dos objetivos son, en principio, contrapuestos puesto que si se busca flexibilizar el acceso de los alumnos y alumnas a los recursos informáticos resultaría necesario aumentar el tiempo de encendido de los mismos (mejor QoS, mayor consumo y huella de carbono). Sin embargo, recientes avances en el desarrollo de sistemas computacionales eco-eficientes (*green computing*) permiten la implantación de servicios computacionales específicos que garantizan una alta disponibilidad de acceso sin necesidad de mantener los equipos constantemente encendidos.

La experiencia investigadora en este campo de los profesores participantes en el proyecto ha permitido diseñar e implantar un sistema de estas características para su uso en tres asignaturas de distintas titulaciones en informática de la Universidad de Oviedo y evaluar su



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

impacto en la docencia (tanto en el grado de satisfacción de alumnas y alumnos como en la influencia en las calificaciones finales) y en la reducción del consumo eléctrico y de las tasas de incidencias.

Se ha observado que este impacto es mayor en asignaturas de cursos avanzados o de máster mientras que es mucho más reducido (o casi anecdótico) en asignaturas de primeros cursos que, además, no requieren elementos hardware o software específicos para el desarrollo de las prácticas.

Como resultado de este proyecto, se ha desarrollado un *framework* eco-eficiente que se puede adaptar con relativa facilidad a otras asignaturas que necesiten servidores especializados para la realización de prácticas informáticas de laboratorio y se han obtenido evidencias de que el uso del mismo puede ser beneficioso para el rendimiento alumnado de estas asignaturas a la vez que se minimiza el impacto económico y ecológico causado por el uso de estos recursos informáticos. Este beneficio es notable en asignaturas de últimos cursos o altamente especializadas pero reducido en asignaturas de primeros cursos o que no requieren sistemas hardware específicos o poco comunes.

1 Contribución del proyecto a la consecución de los objetivos específicos y de los objetivos de la convocatoria

1.1 Objetivos específicos del proyecto conseguidos. Indicar y valorar el grado de consecución de cada uno.

Objetivo específico 1: Aumentar la disponibilidad de equipos informáticos avanzados para la realización de prácticas y el estudio autónomo del alumnado.

Este objetivo era uno de los hitos principales del proyecto puesto que todos los demás dependían de su consecución. Para llevarlo a cabo, se han utilizado diversas tecnologías, desde las más clásicas o sencillas (p. ej. Ganglia, SGE o equivalentes, control por tarjetas administrativas tipo iDRAC, etc.) hasta las más complejas, como soluciones multi-objetivo derivadas del uso de técnicas de Inteligencia Artificial. La conjunción de todo ello ha permitido desplegar una infraestructura informática que ha puesto a disposición de las alumnas y los alumnos los sistemas hardware y software avanzados necesarios para realizar las prácticas de las asignaturas, incluyendo algunos, como servidores multiprocesador, equipos con varias unidades de Procesamiento Gráfico (Graphics Processing Unit, GPU) o nodos con subsistemas Intel Xeon Phi®, que son de coste elevado y/o de difícil gestión e instalación. El sistema ha estado disponible, desde la fase inicial de pruebas y puesta en marcha el 1/05/2019, durante 24 horas al día y 7 días a la semana salvo por cortos periodos de tiempo por razones de mantenimiento debidamente comunicadas. Esta alta disponibilidad ha resultado vital sobre todo para una de las asignaturas involucradas en el proyecto que, por impartirse en el segundo semestre y a



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

causa del confinamiento provocado por la pandemia de COVID-19, ha tenido que desarrollarse en gran parte de forma telemática. Al disponer de este sistema no ha sido necesario aplicar cambios en las prácticas a realizar por los alumnos, ni que los alumnos tuvieran que dotarse de equipamiento específico para poder llevar a cabo su trabajo. Por todas estas razones, este objetivo se considera cumplido al 100%.

Objetivo específico 2: Reducir el consumo energético y la huella de carbono de las actividades de prácticas informáticas de las asignaturas involucradas en el proyecto.

El coste energético y ecológico de desplegar un sistema de alta disponibilidad como el conseguido en el objetivo específico 1 puede ser muy elevado si se usan tecnologías tradicionales que no tengan en cuenta el consumo. Por tanto, para llevar a cabo este objetivo se ha optado por utilizar tecnologías de vanguardia en la computación eco-eficiente como SGE, control por tarjeta administrativa o soluciones multi-objetivo/pareto aprendidos con técnicas de Inteligencia Artificial, etc. Esto ha posibilitado que, sin disminuir la disponibilidad de los sistemas y de forma completamente transparente a las usuarias y a los usuarios, desde su puesta en marcha en mayo de 2019 hasta julio de 2020: a) aproximadamente el 98% del tiempo los sistemas han estado apagados, b) entorno al 1.8% del tiempo ejecutando trabajos y c) el, aproximadamente, 0.2% del tiempo restante en procesos de encendido/apagado o de inactividad. El tiempo de espera promedio por el encendido de los equipos varía entre el minuto de los equipos más sencillos y rápidos y los 5 minutos de los más complejos o lentos. Así, según las estadísticas del sistema, en un año y 3 meses los costes de operación han sido tan solo de unos 60€ (0.40MWh, 0.14 Mt CO₂), con un total de unas 1400 reconfiguraciones (encendidos/apagados automáticos de equipos). Nótese que los costes de ejecución de los trabajos son transversales, no son objeto de análisis o reflexión, son los que son con o sin herramientas de gestión. Sin la herramienta aquí propuesta, manteniendo la QoS, los costes de operación habrían sido de unos 3000€, con 20MWh y 7Mt CO₂. Por estos motivos, este objetivo también se considera cumplido al completo.

Objetivo específico 3: Crear un *framework* uniforme para la gestión del equipamiento informático dedicado a actividades docentes en varias asignaturas de perfiles similares.

El hardware necesario para la realización de prácticas en las distintas asignaturas incluidas en el proyecto es muy variado y va desde lo estándar (para asignaturas de primeros cursos con requisitos poco especializados) a sistemas singulares para tareas de computación intensiva heterogénea (GPU, Xeon Phi®, SoC para IA, etc). Esto provoca que el despliegue de un *framework* uniforme capaz de gestionar todos los equipos sea complejo desde el punto de vista técnico y requiera de configuraciones específicas en algunos casos. Aún así, la herramienta desarrollada permite, en la mayor parte de los casos, realizar el despliegue de forma prácticamente uniforme y automática, por lo que consideramos cumplido este objetivo en un grado del 95%.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Objetivo específico 4: Estudiar la posibilidad de exportar el mismo sistema de gestión eco-eficiente a otras asignaturas y/o centros.

Las pequeñas dificultades encontradas a la hora de realizar la gestión uniforme del hardware de las distintas asignaturas con el *framework* del objetivo específico 3 imponen ligeras limitaciones con respecto a las asignaturas a las que se podría exportar de forma automática el sistema (aquellas que requieran configuraciones hardware altamente no estándar). En estos casos, sin embargo, se podrían realizar ajustes específicos de la herramienta de gestión para adaptarla a las necesidades particulares de cada entorno de prácticas. Una limitación de mayor importancia es, por el contrario, el nivel de especialización del hardware necesario para el trabajo del alumnado en la asignatura. En el marco de este proyecto se ha observado que, en asignaturas en las que los recursos hardware y software necesarios son de uso común, los alumnos y las alumnas tienden a no utilizar el sistema puesto que pueden cubrir sus necesidades con sus propios equipos, cosa que prefieren en su amplia mayoría. Por ello, se han identificado como asignaturas susceptibles de adoptar esta metodología aquellas que requieran para la realización de sus prácticas de sistemas hardware singulares o de software de difícil instalación y/o configuración. Se han establecido contactos iniciales con el profesorado de asignaturas como “Inteligencia de Negocio” o “Métodos Basados en el Conocimiento Aplicados a la Empresa”, que han mostrado interés en el despliegue de la herramienta, especialmente por la facilidad de gestión que ofrece en caso de tener que impartir docencia de forma telemática por causas excepcionales, como ha sucedido durante este curso. A falta de concretar el despliegue del *framework* en otras asignaturas y centros, consideramos cumplido este objetivo en un 80%.

1.2 Objetivos de la convocatoria a los que se dirigía el proyecto conseguidos. Indicar valoración del grado de consecución.

1. f) Desarrollar acciones de innovación docente con tecnologías avanzadas como el aprendizaje con dispositivos móviles, realidad aumentada, learning analytics, etc.

Para el desarrollo del *framework* de gestión de equipos informáticos para la realización de prácticas se han utilizado tecnologías de última generación como SGE, control por tarjeta administrativa o soluciones muti-objetivo/pareto aprendidos con técnicas de Inteligencia Artificial. Además, se han puesto a disposición de las alumnas y de los alumnos sistemas hardware avanzados como GPUs, Intel Xeon PHI®, SoC NVIDIA, y servidores multiprocesador. Por tanto, este objetivo se considera cumplido al 100%.

3. b) Desarrollar la capacidad de trabajo y formación autónoma del alumnado a través de la educación virtual.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

La herramienta desplegada ha permitido a los alumnos y las alumnas acceder al hardware y software necesarios para realizar las prácticas de laboratorio durante 24 horas al día y 7 días a la semana. Esto ha posibilitado una mayor autonomía por parte de las alumnas y los alumnos, que han sido capaces de organizarse de forma flexible en lugar de tener que depender del horario de apertura de los centros y las salas de prácticas. En consecuencia, este objetivo también se considera cumplido completamente.

2. f) Promover el desarrollo de temáticas y metodologías transversales relevantes ligadas a la docencia de diferentes asignaturas: cooperación y educación para el desarrollo, igualdad de género, interculturalidad, inclusión y atención a la diversidad, aprendizaje en servicio etc. (Nota: consideramos la eco-eficiencia y la reducción del consumo energético como un tema transversal de especial relevancia en la actualidad).

El impacto ecológico y de consumo energético en la enseñanza, especialmente en la enseñanza de la informática, es un tema transversal de elevada relevancia en la actualidad. Como tal, en el presente proyecto se ha hecho hincapié en no sólo poner a disposición del alumnado los recursos hardware y software necesarios para la realización de sus prácticas de laboratorio curriculares y para la elaboración de los trabajos de programación requeridos para la evaluación, sino también en que estos medios estuvieran disponibles de forma eco-eficiente. Gracias a las tecnologías utilizadas, este objetivo se ha cumplido completamente.

4. b) Potenciar la coordinación entre profesores, así como el desarrollo de proyectos interdisciplinares e intercurriculares. Potenciar también aquellos proyectos que impliquen colaboración entre diferentes Centros y Departamentos.

Para la creación del *framework* de gestión de los recursos informáticos ha sido necesaria la colaboración de los profesores de las tres asignaturas incluidas en el proyecto. En ese sentido, el objetivo se considera cumplido al completo.

7. c) Impulsar propuestas que busquen una transferencia de proyectos de innovación docente a otros centros o a entidades externas.

Como resultado del proyecto, se dispone de una herramienta para la gestión eco-eficiente de equipos informáticos que puede ser exportada y utilizada con cambios mínimos por otras asignaturas. Además, a la vista del uso realizado por las alumnas y los alumnos se ha constatado que el sistema es especialmente interesante para asignaturas de máster o de últimos cursos de grado o para aquellas que requieran de uso de equipos informáticos específicos y poco comunes. Así, se han realizado contactos iniciales con el profesorado de otras asignaturas que podrían beneficiarse de estos desarrollos. A falta de concretar estos contactos en un plan detallado de despliegue de la herramienta, el objetivo se considera cumplido al 80%.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

2 Contribución del proyecto al plan estratégico de la Universidad y repercusiones en la docencia. *Para la elaboración de este apartado describir el grado de cumplimiento de los compromisos adquiridos del punto 5 de la solicitud del proyecto.*

2.1 Alineamiento del Proyecto de Innovación Docente con el Plan Estratégico 2018-2022 de la Universidad de Oviedo en materia docente.

FAE 6: Puesta en marcha de un programa de herramientas digitales para la enseñanza: Potenciar la oferta formativa a distancia

La herramienta desarrollada permite el acceso del alumnado a recursos hardware y software que, tradicionalmente, solo estaban disponibles en el aula debido a su alto coste, a su difícil configuración y gestión y a su elevado consumo energético. De esta forma, se ayuda a potenciar la oferta formativa a distancia puesto que es posible impartir prácticas especializadas sin la necesidad de la presencia física de la alumna o del alumno en la sala de ordenadores.

FAE 6: Puesta en marcha de un programa de herramientas digitales para la enseñanza: Mejorar la calidad de las actividades formativas online

La disponibilidad de equipos informáticos especializados 24 horas al día y 7 horas a la semana, repercute favorablemente en la calidad de las actividades formativas online, puesto que posibilita que los alumnos practiquen telemáticamente, de forma flexible y autónoma, los conceptos aprendidos en las clases teóricas. Además, ha abierto la posibilidad de realizar actividades formativas online de forma síncrona en las que el alumnado tiene acceso a todos los recursos computacionales necesarios de forma transparente.

FAE 7: Puesta en marcha de un programa para la financiación de proyectos de innovación docente. Mejorar los resultados académicos de los estudiantes

La herramienta desplegada durante este curso ha conllevado un aumento del trabajo práctico de los alumnos y de las alumnas, lo que ha redundado en un mayor aprovechamiento del tiempo empleado en el estudio. También ha posibilitado un seguimiento más personalizado del trabajo autónomo de las alumnas y los alumnos por parte del profesorado. Todo esto se ha visto reflejado en una mejora del resultado académico del estudiantado, especialmente en la asignatura de Programación Concurrente y Paralela.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

FAE 14: Programa de formación transversal para el estudiantado. Mejorar las competencias transversales y extracurriculares del estudiantado

El despliegue de la herramienta ha ayudado a la concienciación por parte de los estudiantes de la importante de tener en cuenta el impacto ecológico y de consumo energético de las tareas computacionales. Esta competencia, transversal a muchas de las asignaturas de los grados y másteres en informática, es especialmente relevante en las circunstancias actuales.

FAE 15: Puesta en marcha de un observatorio de innovación docente y la orientación vocacional en colaboración con el gobierno del principado de Asturias. Reducir el fracaso escolar

El framework ha contribuido, gracias a dar la oportunidad al estudiantado de realizar estudio autónomo y completar las tareas evaluables con flexibilidad horaria, a mejorar los resultados académicos y a reducir el fracaso escolar.

FAE 19: Mejora de la atención a los colectivos con necesidades específicas. Desarrollar medidas de equiparación e igualdad de oportunidades.

El hardware necesario para la realización de las prácticas de la mayoría de las asignaturas involucradas en el proyecto tiene un alto coste económico, lo que imposibilita que sea adquirido de forma particular por algunos alumnos y alumnas. El despliegue de esta herramienta garantiza el acceso a estos recursos informáticos en igual medida para todo el alumnado, reduciendo las desigualdades sociales y equiparando las oportunidades de todo el estudiantado.

FAE 31: Puesta en marcha de un plan de formación en abierto a través de internet. Intensificar las acciones formativas llevadas a cabo en Internet

El sistema de control y acceso al hardware implantado mediante este proyecto ha ayudado a intensificar la acción formativa llevada a cabo en Internet. Esto ha resultado especialmente notorio en la asignatura *Computación de altas prestaciones* del Máster en Ingeniería Informática, puesto que debido al confinamiento por la pandemia de COVID-19, casi la totalidad de las prácticas han tenido que ser realizadas de forma telemática. Sin esta herramienta, esto habría resultado imposible (o hubiera sido posible solo con un elevadísimo coste energético).



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

2.2 Grado de consecución de las repercusiones esperadas del proyecto (en la docencia específica y en el entorno docente)

1. Posibilidad de poner el proyecto en práctica en otras asignaturas, cursos, carreras o con otros profesores.

La herramienta desarrollada es altamente genérica, lo que posibilita su adaptación, con modificaciones mínimas, para la gestión del equipamiento informático de otras asignaturas. En vista de los resultados obtenidos, esto es especialmente interesante en asignaturas que utilizan hardware altamente especializado o en asignaturas de últimos cursos, y resulta menos adecuado en asignaturas de primeros cursos, donde el equipamiento informático necesario es más común y menos costoso.

2. Aumentar la colaboración entre varios centros, departamentos, áreas, profesores, másteres, etc.

El proyecto ha requerido de la colaboración del profesorado de tres asignaturas distintas, dos de grado y una de máster. Se prevé que se puede extender fácilmente a otros centros y departamentos, lo que conllevaría un aumento de la colaboración docente entre los mismos.

3. Fomentar la colaboración con profesores de otras instituciones autonómicas, nacionales o extranjeras (Universidades, Centros de Enseñanza Primaria o Secundaria, redes de colaboración internacional, etc.)

Los buenos resultados obtenidos y la constatación de la facilidad de adaptar la herramienta a otros entornos y asignaturas han abierto la posibilidad de exportar el modelo no sólo a otras asignaturas de la Universidad de Oviedo, sino también a asignaturas de otras universidades. Para ello, se han iniciado conversaciones con profesores del área de Teoría de la señal y comunicaciones de la Universidad de Jaén, algunas de cuyas asignaturas tienen requisitos hardware similares a los de las asignaturas involucradas en el proyecto (GPUs, servidores de alta disponibilidad...).

4. Publicación de resultados en revistas, libros, jornadas o congresos distintos de las Jornadas de Innovación Docente de Uniovi.

La herramienta desarrollada utiliza tecnologías punteras en el campo de la computación eco-eficiente. La experiencia ganada abre la posibilidad de abordar nuevas publicaciones en este campo además de las ya realizadas en el pasado [1,2,3].

5. Utilización de herramientas y aplicaciones tecnológicas avanzadas al servicio de la propuesta metodológica



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Para el desarrollo del framework de control y gestión de los equipos informáticos de prácticas se han utilizado tecnologías avanzadas de *green computing* como, por ejemplo, las descritas en las referencias [1,2,3]

6. Posibilidades de dar continuidad al proyecto en cursos posteriores ampliándolo o mejorándolo

La implantación de la herramienta ha resultado exitosa y se planea seguir utilizándola en los próximos cursos, al menos en las asignaturas de *Computación de altas prestaciones* y *Programación concurrente y paralela*. Para ello, se realizarán modificaciones y mejoras con vistas a incorporar nuevo hardware y reducir aún más el consumo energético (posibilidad que se abre gracias a los datos de uso recabados durante este curso). También se contempla la posibilidad de exportar el modelo a otras asignaturas y a otros centros, de esta y de otras universidades.

3 Memoria del Proyecto

3.1 Marco Teórico del Proyecto

La computación, en general, se ha convertido en uno de los consumidores de electricidad con mayor tasa de crecimiento. Así, varios informes sitúan en 150.000 millones de kWh el consumo de los centros de procesamiento de datos (CPDs) de los Estados Unidos en 2020. Esta gran demanda de energía también tiene un alto impacto medioambiental, con una huella de carbono equivalente a la industria de la aviación y que, en 2020, se estima alcance 350 millones de toneladas métricas de CO₂. Si el análisis se extiende a otros lugares y ámbitos está claro que su impacto es extremadamente elevado. Cabe resaltar que los CPDs son instalaciones modernas y diseñadas eficientemente, que no es lo habitual en otro tipo de instalaciones.

Centrando la discusión en el seno de la Universidad de Oviedo, concretamente en las actividades docentes de carácter presencial, se observa que el número de aulas o equipos informáticos es amplio y que, aunque no lo parezca, la universidad también es un gran consumidor y emisor de CO₂: equipos ineficientes por edad (tecnologías obsoletas), por gestión (p. ej. encendidos por olvido), por un diseño simplista del aula (p. ej. todos iguales y de fácil administración), etc. O, simplemente, porque son necesarios sistemas informáticos específicos muy lesivos en términos de consumo/contaminación.

Por otra parte, la implantación del EEES infiere una amplia componente de trabajo no presencial por parte del alumno, que debe ser responsable, autónomo, etc. Está claro que, en este modelo, la universidad debe facilitar el acceso a los recursos informáticos, desde fuera de las aulas, en cualquier momento. Esto u *obligar* a los alumnos a disponer de recursos propios que, en algunas asignaturas, supondría un desembolso económico extra, bien por la tecnología requerida (p. ej. GPUs modernas compatibles CUDA, nada habituales en equipos estándar), o bien por el número de elementos de cómputo necesarios (p. ej. computación paralela y/o distribuida). Es evidente



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

que la segunda opción no es deseable, lo que obliga a mantener encendidos de forma continuada parte de los recursos de la universidad y, posiblemente, a adquirir nuevo equipamiento. Consecuentemente, el consumo de energía y las emisiones aumentarán.

En las asignaturas en las que se centra el presente proyecto, los alumnos necesitan acceder a algunos recursos informáticos específicos (tanto de hardware como de software), que necesariamente deben ser proporcionados por las Escuelas y Departamentos de los que depende la docencia. Los altos costes energéticos y de mantenimiento de estos equipos, así como aspectos relacionados con la seguridad, obligan a restringir la disponibilidad de los mismos, lo que influye negativamente en el rendimiento de las alumnas y los alumnos, que ven constreñidos los horarios de acceso a dichos sistemas a los establecidos en la planificación docente de las Escuelas/Departamentos (horas presenciales de PL), limitando severamente su capacidad de trabajo y estudio autónomos.

Por todo lo dicho, es imperativo aumentar la eficiencia energética de estas instalaciones para mejorar su sostenibilidad, reduciendo su impacto medioambiental, reducir los costes de operación, mejorar la fiabilidad de sus componentes hardware, etc., extendiendo las posibilidades de acceso de los alumnos y alumnas a los equipos necesarios para desarrollar su trabajo autónomo más allá de las horas presenciales de PL programadas.

En las últimas décadas se han llevado a cabo numerosas investigaciones para mejorar la eficiencia de los sistemas de computación (*green computing*) siguiendo múltiples enfoques, que pueden ser clasificados taxonómicamente en estáticos y dinámicos. Los profesores que avalan esta propuesta han venido realizando trabajos de investigación en modelos dinámicos, como se puede ver en: a) “Energy-efficient allocation of computing node slots in HPC clusters through parameter learning and hybrid genetic fuzzy system modeling” en *Journal of Supercomputing* 2015, b) “Leveraging a predictive model of the workload for intelligent slot allocation schemes in energy-efficient HPC clusters” en *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 2016, c) “Eco-Efficient Resource Management in HPC Clusters through Computer Intelligence Techniques” en *Energies* 2019, entre otros trabajos.

El objetivo de este proyecto es aplicar los resultados de las investigaciones desarrolladas diseñando una metodología que permita implantar un entorno Eco-Eficiente de Alta Disponibilidad y Bajo Coste para las actividades prácticas de computación exigente o masiva de los alumnos. Con ello, se aumentará significativamente el tiempo de acceso de los alumnos a los recursos informáticos que precisan para el desarrollo de las tareas evaluables y para el estudio personal, algo que sin duda redundará en un mejor rendimiento académico. Además, la solución propuesta minimizará el gasto energético y la huella de carbono sin menoscabar la calidad de servicio.

3.2 Metodología utilizada

3.2.1 Plan de Trabajo desarrollado



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

El desarrollo de la presente propuesta ha involucrado varias tareas:

a) Actualizar los estudios de mercado y viabilidad de sistemas autónomos, de bajo coste, bajo consumo, robusto física y lógicamente y dimensiones reducidas (SCEEAM). El rango de precios varía desde las pocas decenas de euros (Nvidia Jetson nano) hasta los más prestacionales de poco más de 1000 euros. Según los recursos disponibles, a aquellos alumnos que no dispongan de equipo informático compatible con las necesidades de las prácticas se les asignará uno de estos dispositivos, del que serán responsables durante el curso académico. También se asesoró a los alumnos que deseen adquirir uno en propiedad.

Responsables de la tarea: Raquel Cortina, Elías Fernández-Combarro (coordinador), José Ranilla

b) Analizar, estudiar y poner en funcionamiento un equipo servidor para la gestión y control de todos los procesos, de los usuarios, de los accesos, etc. Habilitar una BBDD que registre los distintos tipos de actividad de los alumnos durante el curso. Instalar soluciones software para alta disponibilidad (365 días – 24 horas) minimizando el consumo eléctrico: “encendido/apagado automático bajo demanda”. Este software constituye el nexo de unión entre el equipamiento clásico de la sala de prácticas y los SCEEAM.

Responsables de la tarea: Raquel Cortina, Elías Fernández-Combarro (coordinador), José Ranilla

c) Seleccionar un conjunto de ordenadores básicos (PCs) e implantar en ellos la solución de gestión eco-eficiente. Estos PCs son los nodos interactivos en las sesiones de prácticas presenciales (PLs, etc.) y los de cómputo en producción para el trabajo no presencial y/o individual de los alumnos. Este conjunto de equipos dispone de algunos nodos con CPUs multi-core y otros con GPUs compatibles CUDA.

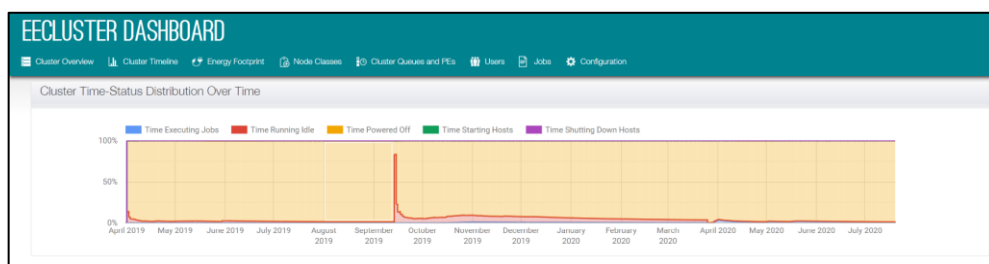
Responsables de la tarea: Raquel Cortina, Elías Fernández-Combarro (coordinador), José Ranilla

3.2.2 Descripción de la Metodología

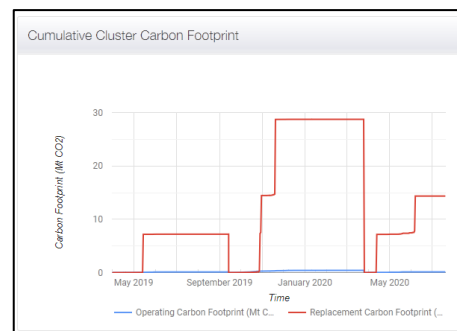
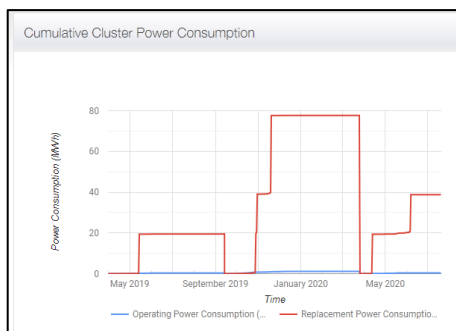
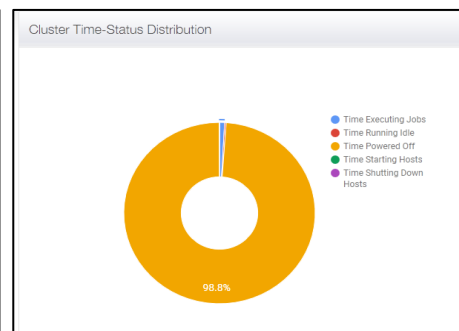
Para evaluar el aumento del tiempo de disponibilidad de los equipos y la reducción de consumo de los mismos debidos a la herramienta desplegada durante este curso académico se han tenido en cuenta los informes de uso del sistema que el propio



framework genera. Así, en las siguientes figuras se puede observar que durante 15 meses más del 98% del tiempo el sistema ha estado disponible pero apagado, sin consumir, sin emitir CO₂ y reduciendo fuertemente los costes y emisiones derivadas de potenciales reparaciones por desgaste/avería. También se observa que el impacto de los procesos de reconfiguración (Time Starting/Shutting) son despreciables. Los tiempos de inactividad (Time Idle) son ajustables. Su finalidad es reducir el número de reconfiguraciones que, como es sabido, aumentan el consumo y las tasas de fallo. Así, es preferible no apagar un sistema durante los minutos siguientes a su uso en la esperanza de que, al finalizar la ejecución de un trabajo, habrá otro del mismo usuario.



Metric	Value
EEClusterd Uptime	1 year, 3 months, 21 days, 8 hours, 38 min
Operating Cost	56,35 €
Operating Power Consumption	0,38 MWh
Operating Carbon Footprint	0,14 Mt CO2
Hardware Replacement Cost	6021,32 €
Hardware Replacement Power Consumption	38,7914 MWh
Hardware Replacement Carbon Footprint	14,35 Mt CO2
Cumulative Host Reconfigurations	1329
Total Cost	6077,67 €
Total Power Consumption	39,17 MWh
Total Carbon Footprint	0,14 Mt CO2



Para evaluar la satisfacción del alumnado con este nuevo sistema de acceso a los equipos de prácticas, se ha realizado una encuesta en las asignaturas *Computación de altas prestaciones* y *Programación concurrente y paralela* (como se ha mencionado anteriormente, la participación de los alumnos de la asignatura *Algoritmia* fue mínima, por lo que se decidió no realizar la encuesta a sus alumnas y alumnos puesto que era imposible obtener resultados significativos).



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Las preguntas incluidas en la encuesta fueron las siguientes:

1. ¿Ha usado el clúster fuera de su horario de prácticas (su PLs)?
2. ¿Podría indicar en qué medida lo ha usado? Exprese un porcentaje aproximado comparando con 30 horas, que es el número de horas de prácticas presenciales (PLs) del alumno en la asignatura.
3. ¿Considera que el uso de un Gestor de Colas + EECluster, que permite usar el clúster a cualquier hora/día y desde cualquier lugar minimizando el consumo, es una decisión acertada?
4. ¿Considera que invertir en este tipo de equipamiento mejora los resultados de aprendizaje, comparando con el uso de salas de prácticas convencionales?
5. ¿Considera que disponer de este tipo de infraestructuras supone un ahorro al alumno dado que no necesita invertir en hardware/software específico para las prácticas?
6. Puede añadir cualquier comentario/observación sobre la conveniencia, o no, del uso de este tipo de infraestructuras, especialmente si está relacionado con el aprendizaje de la asignatura.

Además, se han evaluado los resultados académicos de las alumnas y los alumnos de las asignaturas *Computación de altas prestaciones (CAP)* y *Programación concurrente y paralela (PCP)* y se han comparado con los de años anteriores. En CAP la mejoría observada es poco significativa, dado que es una asignatura de máster con tasas de rendimiento/éxito muy elevadas y próximas al máximo admisible. En PCP, asignatura de grado con una elevada carga prácticas, la Tasa de Rendimiento (TR) ha subido casi un 7%, la Tasa de Éxito (TEX) no ha variado significativamente y la Tasa de Expectativa (TEP) ha mejorado casi un 10%; incrementos significativos.

3.3 Resultados alcanzados

3.3.1 Valoración de indicadores detallando los instrumentos utilizados para recoger la información, se valora la inclusión de tablas o figuras que faciliten la comprensión de lo expuesto. Al menos un indicador se vinculará con el grado de satisfacción del alumnado que participe en el proyecto.

De los resultados de los informes del gestor de equipos y de las respuestas de los alumnos y las alumnas en la encuesta se han obtenido los indicadores que nos permiten evaluar el grado de consecución de los objetivos.

Con respecto al tiempo de disponibilidad de los equipos, se ha obtenido un aumento del 64%. Esto quiere decir que las alumnas y los alumnos han sido capaces de utilizar los equipos especializados localizados en la Universidad de Oviedo un 64% más del tiempo que en cursos anteriores (comparado con el horario de acceso a las salas de prácticas). Este valor es notablemente superior al 30% que habíamos considerado para poder evaluar la consecución de este objetivo como buena.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Con respecto a la reducción del consumo, como ya se ha comentado, según las estadísticas del sistema los costes de operación han sido tan solo de unos 60€ (0.40MWh, 0.14 Mt CO₂), frente a los casi 3000€ si no se hubiese usado el sistema exigiendo una QoS del 100%.

En cuanto al grado de satisfacción del alumnado, de los resultados de la encuesta se desprende que un 98% han usado el sistema fuera del horario de prácticas (pregunta 1), un 100% considera que este sistema es beneficioso puesto que aumenta la disponibilidad de los equipos (pregunta 3), un 98% afirma que el *framework* favorece el aprendizaje (pregunta 4) y un 96% indica que con este método se produce un ahorro para el alumno (pregunta 5). Por todo ello, consideramos que el grado de satisfacción del alumnado es de un 98%, superando el 70% que nos habíamos marcado para considerar “bueno” el grado de cumplimiento de este objetivo.

Además, los alumnos y las alumnas han dejado algunos comentarios favorables, de los que recogemos a continuación algunos de los más significativos:

- “Es muy conveniente, nos permite trabajar desde casa lo que aumenta las posibilidades que podemos hacer en cada trabajo”
- “Me parece una medida que mejora la velocidad y agilidad en relación a la realización de la práctica ya que minimiza el consumo.”
- “Considero que favorece al aprendizaje, ya que al poder utilizarlo fuera de las horas de prácticas podemos dedicar el tiempo que queramos/necesitemos para comprender la asignatura y hacer las prácticas sin la presión de que sólo tienes el tiempo de la clase práctica.”
- “En mi opinión este es una infraestructura fundamental, siempre requerida en al menos algún momento, sin la cual muchas de las actividades de prácticas serían casi imposibles de realizar en el semestre.”
- “Pasé dificultades en otra asignatura por problemas para virtualizar en mi PC personal, si se siguiese esta metodología no me hubiera ocurrido”
- “Debido al tiempo que lleva hacer las prácticas, disponer del servidor 24h es MUY útil”
- “Me ha parecido un acierto el uso de este sistema. Además de facilitarnos la vida en lo referente a la accesibilidad al clúster, también nos permitió visualizar con mayor claridad conceptos impartidos en la asignatura”

Los principales comentarios negativos recibidos han tenido que ver con la sobrecarga del sistema en algunos momentos (lo que, indirectamente, también indica la buena aceptación del *framework*) o con el incremento de dificultad a la hora de ejecutar los trabajos (lo cual podría explicar la baja aceptación del sistema en la asignatura de *Algoritmia*, donde los alumnos tienen menor experiencia con este tipo de equipos y disponen de recursos propios donde realizar adecuadamente las prácticas):

- “La única pega que se le puede poner es que falta un sistema que resuelva automáticamente el problema de atasco en las colas”



- “Mejorar la gestion de las colas, por ejemplo, eliminando automaticamente los procesos que lleven mas X horas ejecutandose para no bloquear las colas.”
- “Esta bien el sistema, pero le veo el inconveniente de que para probar trabajos desde casa solo existe la opcion de mandarlos a las colas y no se dispone de otro medio mas rapido y comodo”

Tabla resumen (a incluir obligatoriamente)

Nº	Indicador	Modo de evaluación	Rangos fijados y obtenidos
1	Aumento del tiempo de disponibilidad de los equipos informáticos necesarios para la realización de prácticas y el estudio	Se han utilizado los informes generados por el sistema de gestión informático para estudiar estadísticas de uso por parte de los alumnos, tanto desde las propias aulas como desde fuera de la universidad	Entre 0,0% y 10,0% →Bajo. Entre 10,0% y 30,0% → Aceptable. Por encima del 30,0% → Bueno Resultado: BUENO (64%)
2	Reducción del consumo energético y de las tasas de avería de los equipos informáticos de las aulas de prácticas de las asignaturas del proyecto	Se han usado los registros de los sistemas para comparar el número de horas que permanecen encendidos y sin uso con respecto a años anteriores	Entre 0,0% y 10,0% →Bajo. Entre 10,0% y 30,0% → Aceptable. Por encima del 30,0% → Bueno Resultado: BUENO (98%)
3	Satisfacción del alumnado con el nuevo sistema de gestión de equipos informáticos	Se ha realizado una encuesta a los alumnos y alumnas de las asignaturas involucradas en el proyecto	Entre 0,0% y 30,0% →Bajo. Entre 30,0% y 70,0% → Aceptable. Por encima del 70,0% → Bueno Resultado: BUENO (98%)
4			

3.3.2 Observaciones más importantes sobre la experiencia relacionando los resultados con los objetivos del proyecto evitando afirmaciones que no estén fundamentadas en lo realizado, redundancias o reiteraciones.

La realización de este proyecto de innovación docente ha servido para obtener conclusiones interesantes sobre la viabilidad de la implementación de un sistema de gestión eco-eficiente de equipos de prácticas informáticas y su influencia en la mejora de la docencia de asignaturas que dependen fuertemente del uso de hardware especializado.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

En primer lugar, se ha constatado que un sistema de este tipo no sólo es viable sobre el papel sino que, con las modificaciones necesarias para adaptarse a los requisitos hardware de cada asignatura, es posible desplegar en la práctica. De este modo, se puede garantizar un acceso continuo (24 horas al día, 7 días a la semana) por parte de las alumnas y los alumnos a la vez que se minimiza el consumo energético.

Por otro lado, se ha observado que la conveniencia de implementar este tipo de solución depende en gran medida de la existencia de necesidades informáticas específicas de cada asignatura. Así, en asignaturas donde los equipos informáticos requeridos sean de uso relativamente común, es muy posible que los alumnos opten por utilizar su propio material informático y hagan poco uso del sistema. Por el contrario, en asignaturas donde los equipos informáticos son de alto coste o de difícil configuración y gestión, el uso de este tipo de *framework* es bien aceptado y muy usado por el alumnado.

Además, la satisfacción de las alumnas y los alumnos con el sistema es alta, destacando la flexibilidad que proporciona por la posibilidad de realizar su trabajo autónomo con libertad de horarios y desde cualquier lugar.

3.3.3 Información online, publicaciones o materiales en abierto derivados de los resultados del proyecto (se valorará especialmente que se proporcionen los enlaces a los mismos)

La página web principal del gestor eco-eficiente de equipos informáticos se puede encontrar en la URL <https://di119.edv.uniovi.es/EECluster>

3.4 Conclusiones, discusión y valoración global del proyecto. Se destacarán los puntos fuertes y débiles del proyecto contrastándolas con los resultados de otros estudios referenciados en el apartado 3.1 sin reiterar los datos ya comentados en otros apartados.

La realización del proyecto “Entornos Eco-Eficientes para el Desarrollo de Actividades Docentes” ha conducido a una consecución satisfactoria de los objetivos propuestos al comienzo del mismo.

En primer lugar, se ha conseguido desplegar un sistema de gestión de prácticas capaz de ofrecer acceso a los recursos necesarios para el trabajo autónomo del alumnado durante 24 horas al día y 7 días a la semana. Este *framework* es suficientemente genérico y flexible, puesto que se basa en tecnologías *open source*, como para que se pueda adaptar a los requerimientos de distintas asignaturas con relativa facilidad. Esto posibilita exportar la experiencia de este proyecto a otras asignaturas del mismo o distintos centros o incluso de otras instituciones educativas. Este es, sin duda, uno de los puntos fuertes del proyecto.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

El objetivo de disponibilidad de los equipos se ha conseguido sin necesidad de aumentar excesivamente el consumo eléctrico. De hecho, la información recogida por la herramienta permite estimar un ahorro energético derivado de los costes de operación de más del 98% con respecto a una solución no basada en tecnologías de *green-computing*. Creemos firmemente que esta dirección de mantener los servicios de computación reduciendo el impacto medioambiental debe de ser la dirección a seguir en el futuro cercano, no solo por responsabilidad social sino para reforzar la educación del alumnado en cuanto a la concienciación sobre problemas globales como el calentamiento global y la necesidad de reducir los consumos energéticos en todas las actividades humanas, incluyendo las tareas de computación (que cada vez suponen un porcentaje más elevado del gasto energético mundial). Por ello, consideramos que este es otro de los puntos fuertes de este proyecto.

El principal punto débil viene por la limitación de la utilidad de la herramienta desarrollada y desplegada en asignaturas cuyos requerimientos *hardware* son fácilmente alcanzables con equipos de uso común. Así, se ha observado que en la asignatura incluida en este proyecto que no requiere del uso de servidores informáticos especializados (*Algoritmia*), el uso del sistema por parte de las alumnas y los alumnos se podría calificar de meramente anecdótica. Tras una reflexión sobre los motivos detrás de esta baja aceptación, hemos llegado a la conclusión de que las ligeras dificultades que conlleva el uso del *framework* (necesidad de crear una cuenta, conectarse remotamente...) disuade al alumnado de utilizarla cuando pueden cubrir las necesidades informáticas de la realización de las prácticas con sus propios equipos. Se hace necesario, por tanto, definir con mayor cuidado cuáles son las asignaturas susceptibles de beneficiarse del uso de esta herramienta de gestión.

Como contrapunto a este punto débil, se ha observado que en aquellas asignaturas en las que los equipos informáticos necesarios para la realización de prácticas son de alto coste económico, de mantenimiento o de instalación y configuración, las alumnas y los alumnos no sólo utilizan el sistema de forma casi unánime, sino que valoran muy positivamente su uso por la posibilidad de utilizar dichos equipos fuera del horario lectivo y desde cualquier lugar. En el contexto de este proyecto, esto ha sido constatado en las otras dos asignaturas incluidas (*Computación de altas prestaciones* y *Programación concurrente y paralela*), donde se ha alcanzado un uso del 98% y una satisfacción del alumnado de similar magnitud.

La valoración global del proyecto resulta positiva en tanto en cuanto se ha desplegado exitosa la plataforma de gestión, lo que permite seguir usándola en posteriores cursos académicos e incluso exportarla a otras asignaturas y a otros centros, y, además, se ha logrado identificar con mayor precisión cuál es el tipo de asignatura que mayor beneficio puede obtener con el uso de este tipo de herramienta.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

4 Bibliografía

La inclusión de la bibliografía de referencia utilizada para la elaboración del proyecto es obligada. Las citas bibliográficas deberán extraerse de los documentos originales indicando siempre la página inicial y final del trabajo del cual proceden, a excepción de obras completas. No debe incluirse bibliografía no citada en el texto. Su número ha de ser ajustado, y se presentarán alfabéticamente por el apellido primero del autor (agregando el segundo sólo en caso de que el primero sea de uso muy común). Se valorará la correcta citación conforme a normativas estandarizadas tipo APA o similares, también se valorará positivamente que haya referencias no sólo a trabajos nacionales, sino también internacionales.

[1] “Energy-efficient allocation of computing node slots in HPC clusters through parameter learning and hybrid genetic fuzzy system modelling”, Alberto Cocaña-Fernández, José Ranilla, Luciano Sánchez. *The Journal of Supercomputing* 71(3), pp. 1163-1174, 2015.

[2] “Leveraging a predictive model of the workload for intelligent slot allocation schemes in energy-efficient HPC clusters”, Alberto Cocaña-Fernández, Luciano Sánchez, José Ranilla. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 48, pp. 95-105, 2016.

[3] “Eco-Efficient Resource Management in HPC Clusters through Computer Intelligence Techniques”, Alberto Cocaña-Fernández, Emilio San José Guiote, Luciano Sánchez, José Ranilla. *Energies* 12(11), pp 1-21, 2019.