

# Microcredenciales como medio de enseñanza del ecosistema RISC-V

Manuel Rodríguez Valido  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Universidad de La Laguna  
La Laguna, España  
mrvalido@ull.edu.es

Pedro P. Carballo, Pedro Hernández-Fernández, Antonio Núñez  
Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada (IUMA)  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
Las Palmas de Gran Canaria, España  
{carballo, pedroh, nunez}@iuma.ulpgc.es

**Resumen**—Este trabajo tiene como objetivo presentar las microcredenciales (cursos cortos) para crear una formación sobre el ecosistema *hardware-software* de RISC-V. Las microcredenciales son una nueva manera, propuesta por la Unión Europea y adoptada por los países miembros, para cubrir las necesidades de recualificación, a lo largo de la vida, de las personas activas. Proponemos una formación en torno a este ecosistema basada en las necesidades (conocimientos y habilidades) de los demandantes de empleo relacionados con Sistemas en Chip (SoC).

**Index Terms**—RISC-V, microcredenciales, recualificación laboral, SoC, diseño de chips, soberanía tecnológica

## I. INTRODUCCIÓN

Las microcredenciales son experiencias de aprendizaje, complementarias a las cualificaciones tradicionales, cursos breves de 1 a 15 ECTS (Sistema europeo de transferencia y acumulación de créditos) [1] que permitan, de forma selectiva, adquirir competencias y capacidades adaptadas a la sociedad y al mercado laboral [2]. Esta iniciativa de la Comisión Europea tiene por objeto proporcionar una norma a nivel europeo que permita que los resultados del aprendizaje de estas experiencias educativas sean reconocidos y entendidos por los empleadores, alumnos y las instituciones de educación y formación, suponiendo un componente clave para el Espacio Europeo de la Educación. En esta misma dirección, el pasado mes de junio de 2023, el Ministerio de Universidades presentó el plan de microcredenciales (Micro-creds), con dotación económica para su desarrollo en el periodo 2024-2026 de 56 millones de euros [3]. En España, un grupo de 32 universidades, bajo el paradigma de formación, investigación e innovación como pilares básicos, han creado la asociación *Spanish Open Hardware Alliance* (SOHA). SOHA tiene como objetivo extender el uso del *hardware* abierto, basando su estrategia de éxito en la utilización de la arquitectura RISC-V y Linux. RISC-V representa una oportunidad de desarrollo en el ámbito de la arquitectura de procesadores, ya que su juego de instrucciones (ISA) no requiere el pago de derechos de licencia ni de *royalties*. Ello permite dotarnos de los mecanismos que garantizan la evolución colaborativa y eficiente, ya sea en el ámbito nacional como país o en Europa. Además, SOHA fomenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, relacionados con su ámbito de actuación, como la mejora en la eficiencia energética, la reducción de la huella de carbono, el aumento de la productividad económica, la igualdad de oportunidades, el aumento del acceso a las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y la evolución colaborativa basada en la complicidad de los tres pilares básicos citados anteriormente [4]. RISC-V es una especificación de una

arquitectura de procesador de tipo RISC abierta con repertorio de instrucciones (*Instruction Set Architecture* - ISA) definido y estandarizado pero abierto y extensible, y una plataforma *hardware/software* (HW/SW) también abierta, desarrollada originalmente en 2010 en la Universidad de California en Berkeley [5]. Esta característica, establece los cimientos de todo el ecosistema que rodea a RISC-V que incluye: *software* de código abierto, *software* comercial, bloque de propiedad intelectual (IP) HW de código abierto, IP comerciales, y herramientas de diseño y verificación. Bajo este contexto, las microcredenciales – sin perjuicio de que esta tecnología se vaya introduciendo en los títulos de Formación Profesional (FP), grados y máster universitarios del estado español – es un medio rápido y eficaz para adquirir capacidades y competencias en el ecosistema de RISC-V.

Este trabajo presenta una propuesta abierta de diferentes cursos cortos en torno al ecosistema RISC-V, organizada en tres niveles: cursos de nivel básico, cursos de nivel intermedio y curso de nivel avanzado. La estructura planteada permite que los estudiantes puedan ir enlazándolos adecuadamente para su formación en el diseño de Sistemas en Chip (SoC) basados en la especificación y plataforma RISC-V. Los contenidos concretos de estos cursos están fuertemente ligados, desde nuestro punto de vista, a la arquitectura RISC-V (por ejemplo de 32 o 64 bits), a la aplicación final, al diseño de extensiones (por ejemplo, la extensión vectorial), a la simulación de la arquitectura o al uso de herramientas de diseño automático EDA (Electronic Design Automation).

El estudiante puede optar por la especialización en distintos dominios, ya sea de diseño intensivo en *hardware* orientado a distintos objetivos de implementación: Internet de las cosas y bajo consumo de potencia, o sistemas complejos orientados a computación de altas prestaciones, como es el caso de los trabajos que se están desarrollando en la iniciativa EPI (*European Processor Initiative*), reuniendo a los principales proveedores y usuarios de tecnología [6].

En el dominio *hardware*, es posible distinguir distintos tipos de especialización, si la tecnología a utilizar está basada en dispositivos programables FPGA o, por el contrario, es necesario utilizar tecnologías ASIC para la implementación del SoC. Los problemas de diseño son diferentes, por los que se requiere un enfoque adaptado a cada uno de los casos de uso. En ambos tipos de implementación se requieren conocimientos básicos de diseño digital, principios básicos de arquitecturas de procesadores y de diseño electrónico basado en lenguajes de descripción *hardware*, así como síntesis desde especificaciones a nivel de transferencia de registros (RTL).

Si el estudiante, por el contrario, requiere una formación

orientada al dominio *software*, por ejemplo, enfocado al desarrollo de algoritmos optimizados o desarrollo de aplicaciones para la arquitectura RISC-V y sus distintas variantes y extensiones, será necesario crear una formación específica en entornos de desarrollo *software* optimizado, compiladores y flexibles.

## II. MICROCREDENCIALES

El avance tecnológico, la transición hacia prácticas más sostenibles y los desafíos demográficos están remodelando tanto las actividades económicas como los empleos, además de otras dimensiones importantes en la vida de las personas. La amenaza de la automatización afecta a numerosos trabajadores, implicando que sus conocimientos, habilidades y competencias podrían volverse obsoletos mucho antes de la jubilación. Paralelamente, estos mismos procesos están generando oportunidades laborales de calidad que requieren nuevas habilidades, las cuales son aún escasas en la población activa. Este desajuste entre las capacidades demandadas y disponibles subraya la necesidad de un impulso decidido en la formación a lo largo de la vida, con el objetivo de asistir a la ciudadanía, sectores productivos, administraciones públicas y entidades sociales en el exitoso recorrido de esta fase de transición.

### A. Necesidades de recualificación

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) se estima que el 22 % de los empleos españoles son redundantes y se encuentran en riesgo elevado de automatización mientras que el 30 % se encuentra en riesgo significativo [7].

Por otro lado, la población adulta en España (15-64 años) se encuentra en las últimas posiciones, tanto de la UE como de la OCDE, en competencias y habilidades, incluyendo la comprensión lectora, las habilidades matemáticas, el conocimiento de idiomas extranjeros, las competencias digitales y las competencias blandas. Tan solo un 4,8 % de esta población adulta presenta un nivel alto de comprensión lectora por un 4,1 % en competencias matemáticas. Esto se debe, de acuerdo con el estudio de la OCDE y comparando con la media europea, a dos componentes principales: en primer lugar, la población adulta española comprendida entre 25 y 64 años que no dispone de estudios post-obligatorios en España es el doble que la media europea; y, en segundo lugar, para cada nivel educativo, el nivel competencial es notablemente inferior al de sus análogos europeos.

La combinación del cambio tecnológico acelerado y de los déficits competenciales genera desajustes en el mercado de trabajo de tal forma que trabajadores sin empleo conviven con puestos de trabajo no cubiertos.

En la Fig. 1 se muestra el incremento de vacantes por sectores y definida como la proporción de puestos de trabajo vacantes sobre el total de personas asalariadas). En el caso de los sectores Profesionales, Ciencias Técnicas e Información y comunicaciones tenemos 15.000 vacantes en 2021. Además, según este estudio el 8 % de empresas españolas en la industria, el 12 % en la construcción y el 11 % en los servicios manifiestan dificultades para encontrar mano de obra cualificada.

La proyección acumulada de demanda de empleo en el periodo 2018-2030, según este informe de la situación socio-económica y laboral de España, habrá generado 1,8 millones

de puestos de trabajo por nuevas actividades y 12 millones de puestos de trabajo por necesidades de reposición. Además, estos datos coinciden con un proceso de progresivo envejecimiento de la población activa y alargamiento de la edad de jubilación (67 años). Si en 2002 un 25,4 % de la población de 20-64 años tenía más de 50 años, en 2021 constituían el 35,2 % y en 2031 se prevé que alcancen el 38,2 %, según estimaciones del INE. Estos desajustes, en el mercado laboral español y el crecimiento de actividades económicas impulsadas por la transición digital y verde, requieren mayores necesidades de re-cualificación.

A pesar de esta necesidad de re-cualificación, el uso de la educación a lo largo de la vida en España es baja comparada con Europa. Si miramos el indicador europeo que define el porcentaje de adultos entre 25 a 64 años que ha participado en alguna acción formativa en los doce meses previos a la encuesta, España (43 %) está lejos de los países líderes como Países Bajos (64,1 %), Suecia (63,8 %) o Austria (59,9 %). El objetivo para 2025, fijado en el Marco Europeo de Cooperación en Educación de 2021, es del 47 %, mientras que el Plan de Acción del Pilar de Derechos Sociales, aprobado en Oporto en 2021, establece el objetivo para el año 2030 en el 60 % (Fig. 2). En síntesis, España se sitúa, comparada con los países europeos de nuestro entorno, en el cuadrante con menores competencias y habilidades en la edad adulta y, a la vez, con menor uso de la formación a lo largo de la vida que permitiría paliar estas carencias competenciales.

### B. Plan de acción

En este escenario, han surgido de manera prominente a nivel internacional un tipo innovador de certificación educativa no convencional, especialmente adecuado para la formación en adultos: las microcredenciales.

La Comisión Europea, en su informe “Recomendación relativa a un enfoque europeo sobre microcredenciales para el aprendizaje permanente y la empleabilidad” [8], las describe como “el registro de los logros de aprendizaje que un estudiante ha obtenido después de cursar un breve período de formación”. Es decir, certificaciones derivadas de formaciones cortas centradas en la adquisición de conocimientos, habilidades o competencias específicas, alineadas con las necesidades de los sectores productivos.

Estas credenciales se asocian con programas flexibles y adaptables a diversas necesidades y restricciones de disponibilidad de los alumnos adultos, incluso mediante modalidades virtuales. Con una estructura modular, cada formación tiene sentido de manera independiente y puede acumularse para combinarse en credenciales más amplias, como grados o másteres, en itinerarios formativos personalizados. Las instituciones con capacidad de generar programas basados en microcredenciales incluyen universidades, así como entidades de formación profesional, empleo, proveedores educativos no convencionales, empresas privadas y administraciones públicas.

Reconciliar el cambio tecnológico con el empleo, comprende una amplia gama de retos. En este sentido, las microcredenciales pueden ser un instrumento para evitar que este cambio de época derive en un proceso de polarización y fractura social, por el que una parte de la población encuentre dificultades para comprender y seguir el ritmo del cambio tecnológico, económico y social y, por lo tanto, no pueda ejercer plenamente los derechos sociales y de ciudadanía.

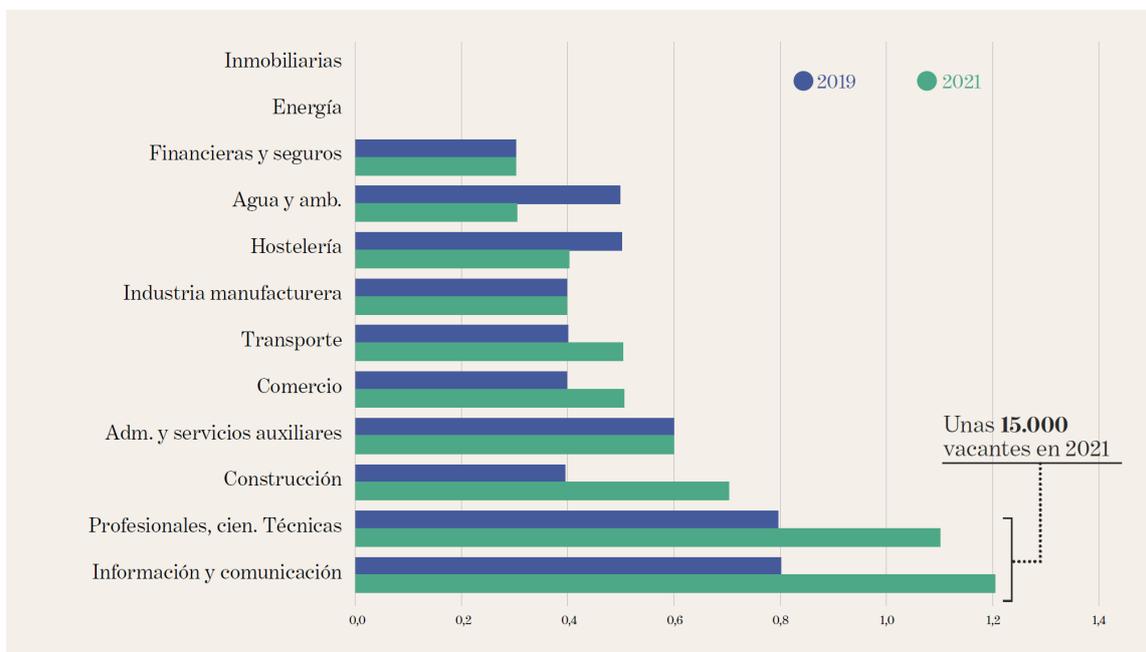


Figura 1. Tasa de vacantes por actividades en España. (Fuente: Memoria sobre la situación socio-económica y laboral 2021, Consejo Económico y Social elaborado a partir de datos de Eurostat e INE).

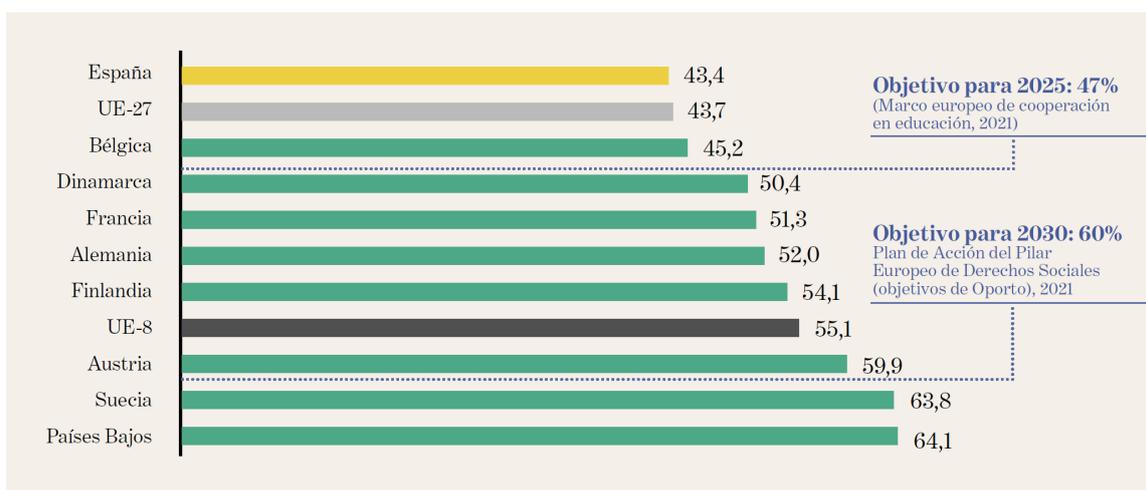


Figura 2. Adultos de 25 a 64 años que han participado en alguna acción formativa en los doce meses previos a la encuesta (Fuente: 2019, Eurostat Labour Force Survey).

También, las microcredenciales, pueden servir para ampliar y democratizar el acceso a la educación superior. Es decir, por sus criterios de acceso flexibles que incorporan el reconocimiento de la trayectoria profesional puede ser un trampolín educativo a los estudios de grado o máster, de manera que las personas adultas que obtengan un determinado número y tipo de microcredenciales dispongan de una vía garantizada para acceder a determinados programas de educación superior, de forma análoga a las actuales pruebas para mayores de 25, 40 o 45 años.

Por último, las microcredenciales, cuando se crean de manera específica para atender a grupos de población vulnerable, como refugiados o inmigrantes, con el propósito de facilitar la adquisición de competencias y habilidades pertinentes para ingresar al mercado laboral, pueden convertirse en un instrumento para promover la inclusión social.

A este respecto, los Ministerios de Asuntos Económicos y Transformación Digital; de Trabajo y Economía Social; de

Inclusión, Seguridad Social y Migraciones y de Ciencia han diseñado un plan de acción en torno al concepto de microcredenciales [9]. El enfoque, como se ha señalado, se circunscribe al desarrollo de las microcredenciales universitarias, sin menoscabo de las actuaciones que deberán emprenderse en otros niveles educativos, así como en otros ministerios, para desarrollar un ecosistema de microcredenciales plural y al servicio de toda la ciudadanía.

### III. MICROCURSOS EN TORNO A LA TECNOLOGÍA RISC-V

Como comentamos anteriormente, y como aproximación a la enseñanza de este ecosistema *hardware/software* en torno a RISC-V, las microcredenciales pueden ser un medio –si es diseñado adecuadamente– diferencial para cualificar a una población egresada de las carreras/grados/master de ingeniería en el ámbito de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC).

## A. Demanda del mercado laboral RISC-V

Datos recientes sobre la evolución de RISC-V en el mercado apuntan que esta arquitectura está protagonizando un crecimiento espectacular impulsado por la inteligencia artificial [10]. En concreto, según este análisis, la utilización de componentes basados en RISC-V crecerán a una tasa de crecimiento anual compuesta del 40 %, llegando a alcanzar 16.000 millones de unidades para el 2030, dato aportado por la Directora Ejecutiva (CEO) de RISC-V International, Calista Redmond. Por otro lado, un estudio realizado por ABI Research [11], muestra que las previsiones de utilización de RISC-V en aplicaciones de Inteligencia Artificial (IA) para procesamiento en el borde en redes IoT (edge AI RISC-V), está justo empezando. El crecimiento (penetración en el mercado) será constante durante el resto de la década, hasta alcanzar más de 129 millones de unidades en 2030 (Fig. 3). La tecnología clave para este impulso son las plataformas de inteligencia artificial, la mayoría de las cuales se dirigen a aplicaciones de consumo que utilizan sensores domésticos, así como aquellas que se encuentran en las plantas de fabricación.

Indudablemente, estas expectativas producirán una demanda laboral creciente y a corto plazo de expertos en el ecosistema *hardware/software* relacionado con la tecnologías en torno a RISC-V. En este sentido, países como China, Estados Unidos e India ya están invirtiendo mucho esfuerzo en el desarrollo de aplicaciones *software* y plataformas *hardware* de código abierto para seguir siendo competitivos y mantener su soberanía en sectores claves en los que cada vez preocupa más la seguridad.

En la misma dirección, con objeto de mantener su soberanía tecnológica, Europa debe responder creando una masa crítica para el desarrollo tanto *software* como *hardware* de código abierto. El desarrollo de un ecosistema europeo sólido de código abierto también debe impulsar la competitividad, ya que permite una innovación mayor y más ágil a costes más reducidos. Sin embargo, para lograrlo es necesario alinear y coordinar las actividades para que los principales actores europeos del sector creen las sinergias adecuadas [12]. Es decir, la realización de un ecosistema de este tipo requiere un cambio radical en el trabajo en todos los ámbitos, con el liderazgo y la contribución de los principales agentes industriales y de investigación europeos y otros agentes de la cadena de valor. Se necesita un enfoque similar al de la Iniciativa Europea de Procesadores [6], que reúne a los principales proveedores y usuarios de tecnología en la cadena de suministro, pero con el objetivo en este caso de producir Propiedad Intelectual (PI) de código abierto.

## B. Conocimientos demandados por empresas sobre SoCs

Los ingenieros de diseño de SoC deben tener una amplia gama de conocimientos para tener éxito en este exigente mercado laboral. Debido a la complejidad del problema a resolver, hay que destacar que el proceso y la responsabilidad de desarrollar un SoC recae normalmente en un equipo de expertos muy estructurado y especializado compuesto por ingenieros de producto, ingenieros *software*, ingenieros *hardware* e ingenieros de diseño de chips entre otros. Entre las más importantes capacidades y conocimientos se incluyen los siguientes:

- Diseño lógico con experiencia en lenguajes de descripción *hardware*;

- Arquitectura de procesadores y su aplicación al diseño de SoC;
- Procesado digital de señales, procesado de imagen, arquitecturas para IA, y su integración en un SoC;
- Metodologías, como por ejemplo Universal Verification Methodology (UVM) y leguajes para verificación, como por ejemplo SystemVerilog;
- Diseño analógico y *mixed-signal* para la integración de IPs analógicos;
- Comunicaciones en SoC e interfaces de alta velocidad;
- Sincronización a nivel de SoC, diseño del árbol del reloj y de la red de *reset*;
- Gestión de la alimentación;
- Diseño y prototipado con FPGA;
- Programación (C/C++, Python, ensamblador);
- Síntesis RTL y diseño para test (DFT), análisis temporal;
- Diseño físico, *placement and routing*;
- Post-silicon lab bring-up, evaluación, depuración y test;
- Gestión de proyectos, comunicación y resolución de problemas.

## C. Ecosistema software/hardware RISC-V

La iniciativa RISC-V necesita a su alrededor de un ecosistema completo de *software* y *hardware* para su éxito. En este sentido, instituciones internacionales, empresas y organizaciones centran sus esfuerzos en acelerar el crecimiento y adopción de esta tecnología globalmente. RISC-V International [13], una organización global sin fines de lucro, sirve como el epicentro del estándar abierto de Arquitectura de Juego de Instrucciones (ISA) RISC-V, así como de sus especificaciones asociadas y la comunidad de partes interesadas. Al adoptar RISC-V, la comunidad puede colaborar en inversiones técnicas compartidas, contribuir al desarrollo estratégico futuro, acelerar el proceso de creación, beneficiarse de una libertad de diseño y lograr notables reducciones en los costos asociados a la innovación. Por otro lado, la iniciativa RISC-V Software Ecosystem, (RISE) creada en Linux Foundation [14] tiene como objetivo aunar esfuerzos de colaboración, dirigido por líderes del sector con la misión de acelerar el desarrollo de herramientas *software* de código abierto para la arquitectura RISC-V.

Los componentes del ecosistema *software* de RISC-V son diversos y abarcan todas las capas, desde el *firmware* de bajo nivel, drivers de dispositivos y los *bootloaders* hasta un kernel de sistema operativo totalmente funcional, aplicaciones y herramientas de diseño y verificación. Los numerosos esfuerzos de la comunidad se dirigen a las necesidades de clases específicas de aplicaciones que van desde la computación de ultra bajo consumo para IoT hasta la amplia gama de sistemas embebidos e incluso plataformas informáticas de supercomputación a nivel exaescala.

Para desarrollar aplicaciones, es necesario disponer de *drivers* y *API* que se comuniquen directamente con la plataforma *hardware*. Este *software* de bajo nivel debe ponerse en marcha con emuladores y simuladores antes de que el *hardware* esté disponible. Por ejemplo, cuando RISC-V International define características completamente nuevas en el conjunto de instrucciones, el desafío es que los desarrolladores no quieren esperar dos o tres años para que el sistema en un chip fabricado con la nueva característica esté disponible para probarla y escribir la correspondiente aplicación *software*. En este sentido hay que resaltar la importancia de las herramien-

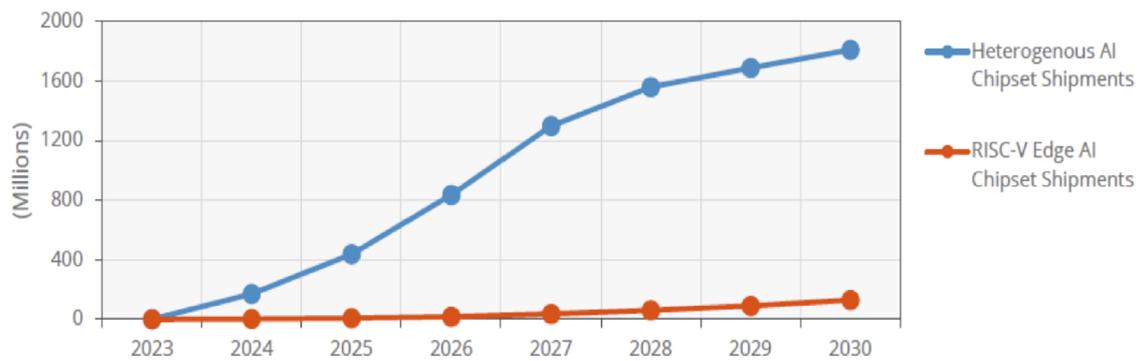


Figura 3. La utilización de chipsets heterogéneos para IA alcanzarán más de 1.800 millones en 2030. También en 2030 se utilizarán 129 millones de sistemas de aceleración para IA en el borde basada en RISC-V. (Fuente: Informe 2024 ABI Research Group).

tas de simulación y emulación, así como las utilizadas para la verificación en el proceso de diseño.

Una vista del ecosistema *software* en torno a la tecnología RISC-V se presenta en [15]. Este amplio ecosistema está compuesto por simuladores, compiladores y librerías, herramientas para depurado, herramientas para *bootloader* y monitoreo, sistemas operativos y *kernels*, sistemas operativos en tiempo real, entornos de desarrollo y herramientas de verificación, entre otras.

Por otro lado, en la actualidad hay más de 100 núcleos RISC-V, 40 SoC basados en RISC-V y numerosas plataformas SoC disponibles, y el número crece ([16], [17]). Mientras la Fundación RISC-V protege el estándar y protege y promueve la arquitectura libre y abierta del conjunto de instrucciones RISC-V junto con su ecosistema de *hardware* y *software* para su uso en todos los dispositivos informáticos, otras muchas organizaciones están construyendo diversas partes del ecosistema RISC-V. Como ejemplo de estos esfuerzos de la comunidad, en [18] se encuentra una guía que recoge contribuciones sobre la arquitectura RISC-V, aplicaciones, bibliotecas *software* y *hardware* y herramientas del ecosistema.

#### IV. ESTRUCTURA DE LA FORMACIÓN BASADA EN MICROCREDENCIALES PARA EL ECOSISTEMA RISC-V

La organización de una formación en el ecosistema *HW/SW* RISC-V basada en microcredenciales implica una estructura de conocimientos complejos que posiblemente deban estar integrados en programas de cooperación entre instituciones y empresas que enriquezcan con su *know-how* el programa desde el punto de vista global, sin perder de vista las potencialidades de cada universidad. Es importante, por un lado, que la formación esté condicionada por la demanda de capacidades y habilidades que los empleadores del sector SoC requieren y por otro, que el estudiante pueda elegir, en esta formación, su recorrido curricular, seguramente con un perfil interdisciplinar potenciado como personal experto en distintas áreas.

Para el diseño de un programa de microcredenciales de SoC basados en RISC-V, al no estar cubierto por un programa reglado y permitir el acceso a estudiantes con un conjunto de conocimientos heterogéneos de partida, es necesario que el programa tenga en cuenta y cubra el recorrido que el estudiante quiera realizar para alcanzar sus objetivos formativos y que cuente con distintos puntos de entrada dependiendo de la formación inicial e interés del estudiante.

Sin pérdida de generalidad, y suponiendo que el estudiante (por ejemplo, un estudiante de los grados en ingeniería electrónica o en informática existentes en el estado español) no posee esos conocimientos específicos de la formación en el ecosistema SoC basado en RISC-V, es necesario establecer un conjunto mínimo de conocimientos que el estudiante pueda alcanzar dentro del propio programa de microcredenciales. También, superada esta etapa inicial, la estructura de la formación debe ofertar cursos independientes que especialicen la formación del estudiante en algunos de los conocimientos requeridos por los generadores de empleo.

Como comentamos anteriormente, los conocimientos y habilidades demandados por las empresas del sector van a condicionar perfectamente la estructura de una formación de SoC basada en microcredenciales para el ecosistema RISC-V. Pero no se debe olvidar que, para encontrar una solución adecuada a este problema, aspectos tales como la motivación (demanda laboral o entusiasmo del alumno por el ecosistema), disponer de recursos humanos (expertos y personal de apoyo), de material adecuado, de colaboración entre instituciones públicas y privadas y financiación ayudarán de forma notable al éxito de esta formación.

En esta línea, la necesidad de colaboración entre distintas instituciones es un aspecto relevante. Esta colaboración puede favorecer la compartición de recursos, como, por ejemplo, el material desarrollado de forma conjunta y que sea accesible para los estudiantes. Ello contribuye de forma notable a la consecución de los objetivos formativos. Hay que tener en cuenta que este tipo de cursos requiere de una formación práctica importante. Desarrollar el material práctico supone un coste importante para la institución, ya sea tanto en medios materiales como en horas de desarrollo. Compartir esos costes mediante desarrollos conjuntos genera un beneficio multiplicador del impacto obtenido. Este es uno de los principios de la comunidad RISC-V: compartir los proyectos desarrollados ya sea mediante plataformas GitHub o similares.

Por tanto, la disponibilidad de material, tanto de formación teórica como práctica pudiera parecer un problema resuelto. La experiencia nos muestra que es necesario dedicar un gran esfuerzo para poder realizar un proceso de selección e integración en esquemas productivos del posible material práctico a utilizar en los recorridos formativos planteados. La escasez de documentación relativa a los *cores* y a los métodos de diseño, tarea generalmente soportada con una mínima información (las empresas comerciales dedican de-

partamentos completos a esta costosa labor) no facilita la labor del profesor. Bajo nuestro punto de vista es labor del docente definir el punto de partida, el recorrido a realizar en el programa de microcredenciales, seleccionar el material necesario y desarrollar aquel que pueda no estar disponible. La presencia de equipos interdisciplinarios ayudará de forma relevante y con resultados multiplicadores en esta labor.

Se trató anteriormente el posible perfil heterogéneo de los estudiantes candidatos a realizar la formación basada en microcredenciales. La capacidad de trabajo autónomo es clave para este tipo de programas. Además de alentar a los estudiantes a seguir un aprendizaje interdisciplinario, en el proceso de diseño creativo es preciso motivar a los estudiantes para que realicen su propio estudio, lo que requiere la cooperación intensiva del personal docente con el estudiante y la aplicación de su experiencia en los aspectos prácticos de la formación. Con el fin de mejorar el estudio independiente es de interés que el programa de microcredenciales incluya conferencias (actividades), experimentos, se apoye en técnicas de educación semipresencial, prácticas y talleres o actividades relacionadas. Es de interés que los estudiantes publiquen sus resultados significativos obtenidos como resultados del desarrollo de su trabajo para lo cual se deben identificar o crear la infraestructura necesaria, añadiendo valor a los resultados obtenidos.

Atendiendo a las competencias demandadas por las empresas del sector de diseño y fabricación de chips y SoC y teniendo en cuenta aspectos heterogéneos del posible alumnado proponemos una estructura de pila de micro cursos agrupados en tres niveles formativos: nivel básico, nivel intermedio y nivel avanzado. Cada uno de los niveles organizados en módulos permite obtener credenciales de forma individualizada. Los módulos conforman un itinerario formativo para RISC-V. Cada uno de estos módulos está organizado en 12 créditos y la duración de cada curso está adaptada al nivel de dificultad. Todos los cursos incluyen formación teórica y práctica, pudiendo combinarse la modalidad virtual para los aspectos teóricos y la presencial para la formación práctica en el laboratorio. En la Fig. 4 se muestra la organización general, incluyendo la organización por módulos, la duración de los módulos y cursos y el título de los cursos propuestos, que se desarrollan en este apartado. Se ha tenido en cuenta que un crédito ECTS equivale a 25 horas de esfuerzo del estudiante, correspondiendo a 10 horas de interacción entre el estudiante y el profesor y a 15 horas de trabajo personal.

#### A. Módulo de nivel básico

Este módulo es introductorio para alumnos de ingeniería y alumnos de FP y trabajadores del sector que quieran formarse en conceptos básicos del ecosistema RISC-V, además de cubrir competencias en diseño lógico, diseño RTL y una breve introducción al diseño basado en FPGA. El módulo consta de 12 créditos ECTS. Cada curso tiene una duración de 1,5 créditos ECTS. Se han incluido los siguientes cursos:

- **MB1: Introducción a RISC-V.** Este curso introduce la arquitectura RISC-V, el ecosistema de RISC-V y la organización de la comunidad RISC-V.org.
- **MB2: Arquitectura RISC-V.** Este curso cubre los aspectos teóricos de la arquitectura ISA de RISC-V: formatos de instrucciones, registros, juego de instrucciones para los distintos tipos de arquitecturas.

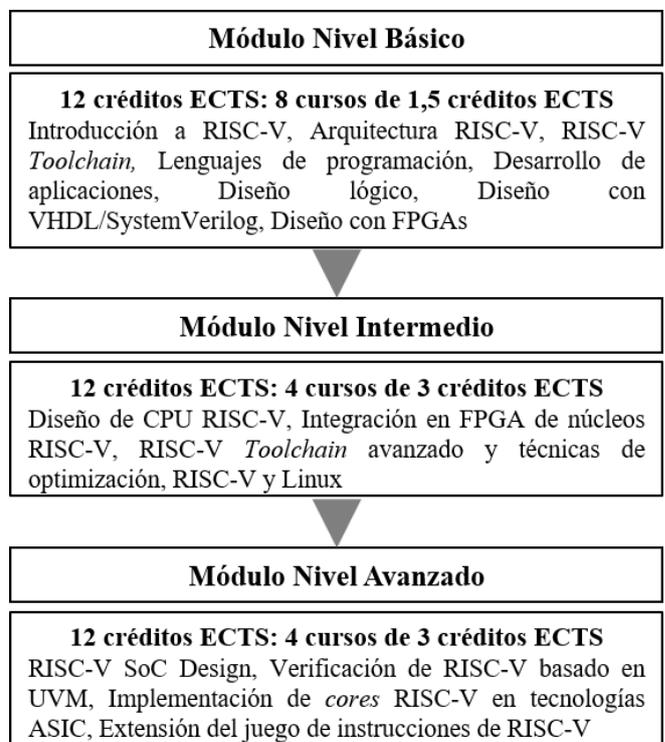


Figura 4. Estructura del programa de microcredenciales propuesto.

- **MB3: RISC-V *Toolchain*.** En este curso se tratan de forma práctica las herramientas de compilación, ensambladores, y herramientas de emulación, entre otros, de la arquitectura RISC-V.
- **MB4: Lenguajes de programación C/C++, Python.** Este curso básico está orientado a los estudiantes sin formación en lenguajes de programación C/C++ y Python. Además, se incluye la utilización de herramientas de desarrollo basadas en Linux, tales como compiladores, *makefiles*, *scripts*, etc.
- **MB5: Desarrollo de aplicaciones.** El objetivo es desarrollar aplicaciones completas sobre emuladores y plataformas existentes que utilizan procesadores basados en RISC-V ya sea utilizando aproximaciones *baremetal* o FreeRTOS, por ejemplo.
- **MB6: Diseño lógico.** En este curso se presentan los aspectos básicos del diseño lógico, cubriendo el diseño combinacional, aspectos de la representación de los datos, circuitos aritméticos, máquinas de estado y máquinas de estado finito con ruta de datos (FSMD).
- **MB7: Diseño con VHDL/SystemVerilog.** Este curso introductorio incluye los principios de diseño con lenguajes de descripción *hardware* ya sea usando VHDL o SystemVerilog y su utilización en entornos de simulación.
- **MB8: Introducción al diseño con FPGAs.** Este curso incluye la aplicación de los conceptos de diseño lógico y diseño con HDL para la implementación en dispositivos FPGA de distintos bloques diseñados a nivel RTL.

#### B. Módulo de nivel intermedio

Los cursos de nivel intermedio son de 3 créditos ECTS y para su realización requieren que el estudiante demuestre que ha alcanzado los resultados del aprendizaje del nivel básico.

El módulo consta de 12 créditos ECTS. Los cursos incluidos en este módulo son los siguientes:

- **MI1: Diseño de una CPU RISC-V.** En este curso se explica el proceso de diseño de una CPU básica para la ejecución de un subconjunto de instrucciones para tipos de datos enteros. El curso incluye la simulación de las unidades funcionales diseñadas en HDL y su control.
- **MI2: Integración en FPGA de núcleos RISC-V.** A partir de *cores* RISC-V disponibles, se integra en una placa FPGA dicho *core*, pudiendo ejecutar una aplicación *baremetal* o basada en FreeRTOS.
- **MI3: RISC-V Toolchain avanzado y técnicas de optimización.** En este curso se incluyen distintas herramientas avanzadas del ecosistema de RISC-V y se introducen distintas técnicas de optimización del código y su inclusión en el compilador.
- **MI4: RISC-V y Linux.** El curso incluye la elección de *cores* con soporte al sistema operativo Linux, su integración en un SoC para FPGA, la compilación del entorno de arranque, la configuración del *kernel* y de las aplicaciones disponibles en el *rootfs*.

### C. Módulo de nivel avanzado

Los cursos de nivel avanzado tienen una igualmente son de 3 créditos ECTS y requieren que el estudiante haya alcanzado los resultados del aprendizaje del nivel intermedio. El módulo igualmente supone un esfuerzo de 12 créditos ECTS. Los cursos incluidos en este módulo son los siguientes:

- **MA1: RISC-V SoC Design.** Se trata de un curso avanzado, donde se tienen en cuenta aspectos a nivel de sistema, tales como la arquitectura de buses, la jerarquía de memoria, las interrupciones o traps, los modos de operación etc. La arquitectura obtenida se simula y se miden las prestaciones utilizando *benchmarks*.
- **MA2: Verificación de RISC-V basado en UVM.** Se explican los conceptos básicos relacionados con la metodología UVM (*Universal Verification Methodology*) y su aplicación a la verificación de CPUs basadas en RISC-V.
- **MA3: Implementación de *cores* RISC-V en tecnologías ASIC** Este curso avanzado pretende introducir al estudiante en la metodología de diseño orientado a tecnologías ASIC, incluyendo la síntesis RTL, optimización, DFT, implementación física y procesos de *sign-off*. *Post-silicon lab bring-up*, evaluación, depuración y test.
- **MA4: Extensión del juego de instrucciones de RISC-V.** En este curso se plantea la introducción de nuevas instrucciones especializadas para dar soporte a la aceleración de aplicaciones (operaciones vectoriales, *machine learning*, etc.). Incluye el desarrollo del soporte *software* (librerías, *drivers*).

### V. CONCLUSIONES

Las microcredenciales, a diferencia de los estudios reglados (grados y masters), pueden ser, según su definición y objetivos, un medio de enseñanza eficaz y rápido para la actualización del perfil laboral de la personas activas a lo largo de su vida laboral. Es decir, un medio de recualificación laboral continua. En este sentido, hemos hecho un propuesta de formación en torno al ecosistema RISC-V con el objeto de cubrir la demanda laboral y re-cualificar a la población activa interesada en formación en SoC.

Esta propuesta de formación basada en microcredenciales se ha estructurado en tres módulos: básico, intermedio y avanzado de 120 horas (12 créditos) cada uno. Cada módulo se organiza en una serie de cursos con sus correspondientes prácticas de tal forma que se alcanzan los objetivos del demandante de la formación. El objetivo final es cubrir las necesidades e intereses formativos del mercado laboral (cambiante) en torno al ecosistema RISC-V.

Creemos que el éxito de esta formación tiene que centrar sus pilares en la “colaboración”, filosofía de la comunidad RISC-V. Es decir, lo ideal es que diferentes grupos de investigadores y enseñantes procedentes de instituciones y del sector empresarial ejecuten esta formación de manera coordinada, compartiendo recursos tanto materiales como humanos.

Además, y no menos importante a la colaboración, dado el posicionamiento estratégico que supone la formación basada en microcredenciales tal como se ha presentado, debe existir una financiación permanente para desarrollar esta formación y que el esfuerzo docente dedicado debe y tiene que ser reconocido como méritos docentes consolidables en la actividad del profesorado.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la asociación SPANISH OPEN HARDWARE ALLIANCE (SOHA) por su iniciativa y esfuerzo para reimplantar “de nuevo”, unir los recursos necesarios, hacer viable, y fomentar, el diseño de chips procesadores y de SoCs, consciente de su importancia hoy en día en un mundo globalizado pero fracturado y en compleja competencia. Concretamente agradecemos a Antonio Rubio y Rafael Gomá (BSC) por su impulso en organizar diferentes grupos de trabajo en el seno de la asociación SOHA, como el grupo GREEN RISC-V, o el grupo Nuevos Estudios, entre otros. Igualmente, los autores agradecen las aportaciones de Emma Ramos (IUMA) relacionadas con los trabajos y experimentos sobre RISC-V.

### REFERENCIAS

- [1] E. Commission, S. Directorate-General for Education Youth y Culture, *ECTS users' guide 2015*. Publications Office of the European Union, 2015. DOI: doi/10.2766/87192. dirección: <https://www.doi.org/10.2766/87192> (visitado 10-05-2024).
- [2] European Commission, *Un enfoque europeo de las microcredenciales*, 2024. dirección: <https://education.ec.europa.eu/es/education-levels/higher-education/micro-credentials> (visitado 20-03-2024).
- [3] Ministerio de Universidades, *El Ministerio de Universidades presenta en la Universidad de Málaga el plan de microcredenciales universitarias*, jun. de 2023. dirección: <https://www.universidades.gob.es/el-ministerio-de-universidades-presenta-en-la-universidad-de-malaga-el-plan-de-microcredenciales-universitarias/> (visitado 25-03-2024).
- [4] United Nations, *Take Action for the Sustainable Development Goals - United Nations Sustainable Development*. dirección: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (visitado 26-03-2024).

- [5] K. Asanović y D. A. A. Patterson, «Instruction sets should be free: The case for RISC-V,» University of California, Berkeley, California, inf. téc., 2014, págs. 1-7. dirección: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2014/EECS-2014-146.html>.
- [6] European Processor Initiative, *EPI - European Processor Initiative*, 2024. dirección: <https://www.european-processor-initiative.eu/project/epi/> (visitado 26-03-2024).
- [7] Consejo Económico y Social, «Memoria sobre la situación socioeconómica y laboral de España 2022,» CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL, Madrid, Spain, inf. téc., jun. de 2023, pág. 548. dirección: <https://www.ces.es/documents/10180/5233540/Memoria-Socioeconomica-CES-2022.pdf>.
- [8] Consejo de la Unión Europea, *BOE.es - DOUE-Z-2022-70041 Recomendación del Consejo de 16 de junio de 2022 relativa a un enfoque europeo de las microcredenciales para el aprendizaje permanente y la empleabilidad*. Jun. de 2022. dirección: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-Z-2022-70041> (visitado 26-03-2024).
- [9] Ministerio de Ciencia Innovación y Universidades, *Plan Microcreds. Dale forma a tu futuro*, 2023. dirección: <https://www.universidades.gob.es/plan-microcreds/> (visitado 26-03-2024).
- [10] K. Krewell, *RISC-V Summit Expands Influence, Shows Growing Pains*, 2023. dirección: <https://www.eetimes.com/risc-v-summit-expands-influence-shows-growing-pains/>.
- [11] ABI Research, *1.8 Billion Heterogenous AI Chipsets by 2030, 129 Million RISC-V AI Shipments by 2030 and 36 Other Transformative Technology Stats You Need to Know*, 2024. dirección: [https://www.abiresearch.com/press/18-billion-heterogenous-ai-chipsets-by-2030-129-million-risc-v-ai-shipments-by-2030-and-36-](https://www.abiresearch.com/press/18-billion-heterogenous-ai-chipsets-by-2030-129-million-risc-v-ai-shipments-by-2030-and-36-other-transformative-technology-stats-you-need-to-know/)
- other-transformative-technology-stats-you-need-to-know/ (visitado 26-03-2024).
- [12] W. group on open source hardware y software, «Recommendations and roadmap for European sovereignty on open source hardware, software and RISC-V Technologies,» European Commission, inf. téc., 2022, pág. 79. dirección: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/recommendations-and-roadmap-european-sovereignty-open-source-hardware-software-and-risc-v>.
- [13] RISC-V International, *RISC-V International – RISC-V: The Open Standard RISC Instruction Set Architecture*. dirección: <https://riscv.org/> (visitado 26-03-2024).
- [14] RISE. The Linux Foundation, *Rise: RISC-V Software Ecosystem – Linux Foundation Project*. dirección: <https://riseproject.dev/> (visitado 27-03-2024).
- [15] RISC-V International, *RISC-V Software Ecosystem*, 2024. dirección: <https://wiki.riscv.org/display/HOME/RISC-V+Software+Ecosystem> (visitado 27-03-2024).
- [16] B. W. W. Mezger, D. A. A. Santos, L. Dilillo, C. A. A. Zeferino y D. R. R. Melo, «A Survey of the RISC-V Architecture Software Support,» *IEEE Access*, vol. 10, págs. 51 394-51 411, 2022, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3174125. dirección: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3174125>.
- [17] S. Kalapothas, M. Galetakis, G. Flamis, F. Plessas y P. Kitsos, «A Survey on RISC-V-Based Machine Learning Ecosystem,» *Information*, vol. 14, n.º 2, 2023, ISSN: 2078-2489. DOI: 10.3390/info14020064. dirección: <https://www.mdpi.com/2078-2489/14/2/64%20https://doi.org/10.3390/info14020064>.
- [18] M. Royal, *RISC-V-Guide: RISC-V Guide. Learn all about the RISC-V computer architecture along with the Development Tools and Operating Systems to develop on RISC-V hardware*. 2024. dirección: <https://github.com/mikeroyal/RISC-V-Guide> (visitado 27-03-2024).