



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO VIRTUAL DE APRENDIZAJE BASADO EN
MOODLE Y CLOUD COMPUTING, ALINEADO A LAS FASES PEDAGÓGICAS DEL
MODELO DEL SISTEMA DE EDUCACIÓN INTERCULTURAL BILINGÜE (MOSEIB)
EN IDIOMA KICHWA-ESPAÑOL, PARA LA GESTIÓN DE ACTIVIDADES
ASINCRÓNICAS EN LAS FIGURAS PROFESIONALES DE MECATRÓNICA Y
ELECTROMECAÁNICA AUTOMOTRIZ DE LA UECIB SAN FRANCISCO DE ASÍS,
LORETO, ORELLANA**

Propuesta Tecnológica previo a la obtención del título de
INGENIERO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN

AUTOR:

Boris Geancarlos Pardo Pinza

TUTOR:

PhD. Juan Carlos Chancusig Chisag

LATACUNGA – ECUADOR

AGOSTO 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Pardo Pinza Boris Geancarlos** declaro ser autor del proyecto de titulación "IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO VIRTUAL DE APRENDIZAJE BASADO EN MOODLE Y CLOUD COMPUTING, ALINEADO A LAS FASES PEDAGÓGICAS DEL MODELO DEL SISTEMA DE EDUCACIÓN INTERCULTURAL BILINGÜE (MOSEIB) EN IDIOMA KICHWA-ESPAÑOL, PARA LA GESTIÓN DE ACTIVIDADES ASINCRÓNICAS EN LAS FIGURAS PROFESIONALES DE MECATRÓNICA Y ELECTROMECAÁNICA AUTOMOTRIZ DE LA UECIB SAN FRANCISCO DE ASÍS, LORETO, ORELLANA", siendo el PhD. Juan Carlos Chancusig Chisag tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Pardo Pinza Boris Geancarlos
CC. 2200288021

AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de Tutor de la **PROPUESTA TECNOLÓGICA** sobre el título: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO VIRTUAL DE APRENDIZAJE BASADO EN MOODLE Y CLOUD COMPUTING, ALINEADO A LAS FASES PEDAGÓGICAS DEL MODELO DEL SISTEMA DE EDUCACIÓN INTERCULTURAL BILINGÜE (MOSEIB) EN IDIOMA KICHWA-ESPAÑOL, PARA LA GESTIÓN DE ACTIVIDADES ASINCRÓNICAS EN LAS FIGURAS PROFESIONALES DE MECATRÓNICA Y ELECTROMECAÁNICA AUTOMOTRIZ DE LA UECIB SAN FRANCISCO DE ASÍS, LORETO, ORELLANA”**, propuesto por el estudiante **PARDO PINZA BORIS GEANCARLOS** de la Carrera de Sistemas de información, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ph.D. Juan Carlos Chancusig Chisag

TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título “IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO VIRTUAL DE APRENDIZAJE BASADO EN MOODLE Y CLOUD COMPUTING, ALINEADO A LAS FASES PEDAGÓGICAS DEL MODELO DEL SISTEMA DE EDUCACIÓN INTERCULTURAL BILINGÜE (MOSEIB) EN IDIOMA KICHWA-ESPAÑOL, PARA LA GESTIÓN DE ACTIVIDADES ASINCRÓNICAS EN LAS FIGURAS PROFESIONALES DE MECATRÓNICA Y ELECTROMECAÁNICA AUTOMOTRIZ DE LA UECIB SAN FRANCISCO DE ASÍS, LORETO, ORELLANA”, propuesto por el estudiante Pardo Pinza Boris Geancarlos de la Carrera de Sistemas de Información, me permito indicar que el o la estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, además de validar el funcionamiento de la propuesta tecnológica, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad de Propuesta Tecnológica en virtud de lo cual el postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



Lector 1 (Presidente)
Mgtr. René Quisaguano
CC: 1721895181



Lector 2
Mgtr. Diego Falconí
CC: 0550080774



Lector 3
Mgtr. Karla Cantuña
CC: 0502305113

UNIDAD EDUCATIVA COMUNITARIA INTERCULTURAL BILINGÜE "SAN FRANCISCO DE ASÍS"

Resolución Ministerial N° 01136 - AMIE: 22B00138
Educación Inicial - Básica - Bach. Téc. Elect. Automotriz - Mecatrónica

San Francisco de Asís, 15 de junio de 2026

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Por medio de la presente, se emite el presente **AVAL DE IMPLEMENTACIÓN** a favor del señor **Boris Geancarlos Pardo Pinza**, portador de la cédula de ciudadanía N.º **2200288021**, estudiante de la Carrera de Sistemas de Información de la Universidad Técnica de Cotopaxi, quien ha desarrollado e implementado en nuestra institución el trabajo de titulación denominado:

"Implementación de un Entorno Virtual de Aprendizaje basado en Moodle y Cloud Computing, alineado a las fases pedagógicas del Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) en idioma Kichwa-Español, para la gestión de actividades asincrónicas en las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz de la UECIB San Francisco de Asís, Loreto, Orellana".

Certifico que la plataforma tecnológica entregada:

- Se encuentra actualmente desplegada y funcional sobre la infraestructura en la nube (Servidor Privado Virtual) gestionada para el efecto, haciendo uso de nuestro dominio institucional autorizado.
- Cumple cabalmente con los requerimientos técnicos y pedagógicos planteados por la institución, logrando la adaptación de los cursos a las cuatro fases del sistema de conocimientos del MOSEIB (Dominio, Aplicación, Creación y Socialización).
- Incorpora la interfaz bilingüe (Kichwa-Español), respetando nuestro modelo educativo intercultural.
- Ha sido validada mediante su aplicación directa con la participación de los docentes y estudiantes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz.

Esta implementación representa un valioso aporte al desarrollo tecnológico y pedagógico de nuestra unidad educativa, facilitando la organización, el acceso y el seguimiento de las actividades académicas asincrónicas de nuestros estudiantes, fortaleciendo así la calidad de la educación técnica que brindamos a la comunidad.

La institución asume, a partir de esta fecha, el compromiso de continuar utilizando y administrando la plataforma implementada, de acuerdo con los lineamientos de autogestión establecidos y la transferencia de conocimientos recibida.

Se extiende el presente documento a petición de la parte interesada, únicamente para los fines académicos que considere pertinentes.

Atentamente,



MSc. Narcisca Licuy
RECTORA U.E.C.I.B. "SAN FRANCISCO DE ASÍS"

narcisca.licuy@educacion.gob.ec



Dirección: San Francisco de Asís, Vía N20 Coca-Loreto, km 26

Código postal: 220201 / Loreto-Ecuador

Teléfono: +593 98 191 1794

uecibsa.edu.ec

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, casa de estudios que me acogió y me formó, y de manera especial a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas y a la Carrera de Sistemas de Información, por la formación académica, técnica y humana recibida a lo largo de estos años. A cada uno de los docentes que compartieron conmigo no solo conocimientos, sino también su experiencia profesional y su exigencia, porque de esa exigencia nació la disciplina que hizo posible este trabajo.

De manera muy particular, agradezco al PhD. Juan Carlos Chancusig Chisag, tutor de este trabajo de titulación, por la guía permanente, el rigor metodológico y la generosidad con que orientó cada etapa del proyecto. Sus observaciones oportunas y su disposición para revisar una y otra vez los avances fueron determinantes para que esta propuesta alcanzara el nivel técnico y académico que hoy presenta.

Mi reconocimiento a los miembros del Tribunal de Lectores (Mgtr. René Quisaguano, Presidente del Tribunal; Mgtr. Diego Falconí y Mgtr. Karla Cantuña), por el tiempo dedicado a la revisión de este documento y por las observaciones que contribuyeron a fortalecerlo.

Agradezco profundamente a las autoridades y a toda la comunidad educativa de la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe “San Francisco de Asís”, en la persona de su Rectora, la MSc. Narcisa Licuy, por abrir las puertas de la institución y confiar en una propuesta que, al inicio, era apenas una idea. Al Ing. Damián Pinza, Mgtr., Coordinador de Bachillerato Técnico, por su acompañamiento técnico y por facilitar los recursos y contenidos que dieron vida al campus virtual. Al Comité Central de la institución, que asumió el financiamiento de la infraestructura y con ello el compromiso de sostener la plataforma en el tiempo.

A los docentes y estudiantes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz, por su paciencia durante el diagnóstico, por animarse a usar una plataforma nueva en medio de sus actividades cotidianas y por responder con honestidad cada instrumento aplicado. Sin su participación, este trabajo no tendría evidencia que mostrar.

Finalmente, a mi familia y a mis amigos y compañeros de aula, por las jornadas compartidas, por el apoyo en los momentos de duda y por recordarme, cuando hizo falta, que todo esfuerzo sostenido termina dando fruto.

Boris Geancarlos Pardo Pinza

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mi madre y hermano. Su esfuerzo silencioso, su ejemplo de trabajo constante y su apoyo incondicional han sido el verdadero sostén de cada etapa de mi formación. Ellos me enseñaron que el estudio no es un privilegio sino una responsabilidad, y que ningún camino que valga la pena se recorre sin sacrificio. Su confianza me acompañó en las jornadas más largas y me recordó siempre el sentido de este camino.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y por motivarme constantemente a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles de este camino. Gracias por su paciencia, comprensión y por celebrar conmigo cada pequeño logro como si fuera propio.

De manera especial, a mi hermano José, quien, aunque hoy ya no está físicamente conmigo, permanece presente en mi corazón y en cada uno de mis logros. Gracias por haber creído en mí, por motivarme en su momento a continuar mis estudios y por impulsarme a no rendirme. Este logro también lleva parte de ti, y siempre recordaré con gratitud el apoyo y la confianza que depositaste en mí.

A la comunidad de San Francisco de Asís, en el cantón Loreto, y en especial a sus estudiantes: este trabajo nació pensando en que la tecnología también puede hablar Kichwa y llegar a la Amazonía. Si estas páginas sirven para que un solo estudiante acceda con mayor facilidad a su educación, el esfuerzo habrá valido la pena.

A mis amigos y compañeros, que creyeron en este proyecto incluso cuando el resultado aún era solo una promesa, y a todos quienes, de una u otra forma, dejaron una huella en este proceso.

Que este logro sea un reflejo de todo lo que sembraron en mí.

Boris Geancarlos Pardo Pinza

RESUMEN

En la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe San Francisco de Asís, ubicada en Loreto, Orellana, las actividades académicas de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz se desarrollaban principalmente de forma presencial y mediante herramientas no orientadas a la educación, dificultando la organización de contenidos, el seguimiento de tareas y la retroalimentación. El presente trabajo tuvo como objetivo implementar un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) basado en Moodle, desplegado sobre infraestructura Cloud Computing bajo el modelo de Infraestructura como Servicio (IaaS), alineado con las fases pedagógicas del Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) y con una interfaz bilingüe Kichwa-Español. La implementación se desarrolló mediante el modelo de diseño instruccional ADDIE, cuyas cinco fases organizaron el proyecto en tres etapas. Durante el Análisis se diagnosticaron la infraestructura tecnológica, conectividad y alfabetización digital de docentes y estudiantes, además de revisar antecedentes sobre Moodle, Cloud Computing y MOSEIB. En el Diseño se estableció la arquitectura tecnológica considerando criterios de dimensionamiento, seguridad y selección del proveedor, junto con una plantilla de curso estructurada según las cuatro fases del sistema de conocimientos del MOSEIB. Las fases de Desarrollo, Implementación y Evaluación se realizaron de manera integrada debido al carácter iterativo del despliegue. La plataforma fue instalada en un servidor privado virtual con software libre y se desarrolló un paquete de idioma Kichwa amazónico propio, identificado con el código qvo, que incorporó 73 cadenas núcleo. Su funcionamiento se comprobó mediante pruebas técnicas, la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS) y métricas de adopción. Como resultado, se obtuvo un campus virtual en producción con seis cursos operativos, que centraliza recursos, tareas, cuestionarios, foros y comunicación asincrónica, con acceso desde dispositivos móviles y adaptación al contexto intercultural bilingüe. Las pruebas con 60 usuarios concurrentes registraron un tiempo promedio de respuesta de 1,37 segundos y 0 % de errores. Además, la restauración de un respaldo permitió recuperar cursos, usuarios y calificaciones en menos de 15 minutos, mientras que el transporte cifrado obtuvo una calificación A+ en SSL Labs. La evaluación de usabilidad, realizada con 38 participantes, alcanzó un puntaje SUS promedio de 91,12 sobre 100, clasificado como excelente (grado A), sin diferencias significativas entre docentes y estudiantes. En cuanto a la adopción, se registraron 300 entregas de 500 tareas asignadas, 163 intentos de cuestionario y 996 sesiones. Asimismo, el 62,5 % de docentes y el 40 % de estudiantes seleccionaron voluntariamente la interfaz en Kichwa. Finalmente, el modelo autogestionado representó un desembolso de 182,78 USD durante el primer año, con un ahorro recurrente estimado entre el 60 % y 66 % frente a una alternativa comercial equivalente. Se concluye que la integración de Moodle y Cloud Computing mediante software libre, orientada por ADDIE y alineada al MOSEIB, constituye una alternativa técnica, pedagógica y económicamente sostenible para la Educación Intercultural Bilingüe.

Palabras clave: Entorno Virtual de Aprendizaje; Moodle; computación en la nube; modelo ADDIE; MOSEIB; educación intercultural bilingüe; usabilidad.

ABSTRACT

At the San Francisco de Asís Intercultural Bilingual Community Educational Unit, located in Loreto, Orellana, academic activities in Mechatronics and Automotive Electromechanics were conducted primarily through face-to-face instruction and using tools not designed for educational purposes, which made it difficult to organize content, track assignments, and provide feedback. The objective of this project was to implement a Moodle-based Virtual Learning Environment (VLE), deployed on a cloud computing infrastructure under the Infrastructure as a Service (IaaS) model, aligned with the pedagogical phases of the Intercultural Bilingual Education System Model (MOSEIB) and featuring a bilingual Kichwa-Spanish interface. The implementation was carried out using the ADDIE instructional design model, whose five phases organized the project into three stages. During the Analysis phase, the technological infrastructure, connectivity, and digital literacy of teachers and students were assessed, and background information on Moodle, cloud computing, and MOSEIB was reviewed. During the Design phase, the technological architecture was established, taking into account criteria for sizing, security, and vendor selection, along with a course template structured according to the four phases of the MOSEIB knowledge system. The Development, Implementation, and Evaluation phases were carried out in an integrated manner due to the iterative nature of the deployment. The platform was installed on a virtual private server using open-source software, and a custom Amazonian Kichwa language pack—identified by the code *qvo*—was developed, incorporating 73 core strings. Its functionality was verified through technical testing, the System Usability Scale (SUS), and adoption metrics. As a result, a live virtual campus with six operational courses was established, centralizing resources, assignments, quizzes, forums, and asynchronous communication, with access from mobile devices and adaptation to the bilingual intercultural context. Testing with 60 concurrent users recorded an average response time of 1.37 seconds and 0% errors. In addition, restoring a backup allowed for the recovery of courses, users, and grades in less than 15 minutes, while the encrypted connection received an A+ rating from SSL Labs. The usability evaluation, conducted with 38 participants, achieved an average SUS score of 91.12 out of 100, classified as excellent (Grade A), with no significant differences between faculty and students. In terms of adoption, there were 300 submissions out of 500 assigned assignments, 163 quiz attempts, and 996 sessions. Furthermore, 62.5% of instructors and 40% of students voluntarily selected the Kichwa interface. Finally, the self-managed model represented an expenditure of 182.78 USD during the first year, with estimated recurring savings of between 60% and 66% compared to an equivalent commercial alternative. It is concluded that the integration of Moodle and cloud computing using open-source software—guided by the ADDIE model and aligned with MOSEIB—constitutes a technically, pedagogically, and economically sustainable alternative for Intercultural Bilingual Education.

Keywords: Virtual Learning Environment; Moodle; cloud computing; ADDIE model; MOSEIB; intercultural bilingual education; usability.

Índice

Declaración de autoría	I
Aval del tutor	II
Aval del tribunal	III
Carta de aval de la implementación	v
Agradecimiento	VI
Dedicatoria	VII
Resumen	VIII
Abstract	x
Índice de anexos	xxIII
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. Antecedentes	4
2.2. Identificación y formulación del problema	5
2.2.1. Situación problemática	5
2.2.2. Análisis y alcance del problema	6
2.3. Justificación	7
2.3.1. Objeto de investigación	8
2.3.2. Campo de acción	8
2.3.3. Clasificación del proyecto en el área de conocimiento	9
2.4. Beneficiarios	10
2.4.1. Directos	10
2.4.2. Indirectos.....	10
2.5. Objetivo general.....	10
2.6. Objetivos específicos	11

2.7. Tareas por fase de ejecución del proyecto	11
3. MARCO TEÓRICO	13
3.1. Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA).....	13
3.1.1. Modalidades sincrónica y asincrónica.....	13
3.2. Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB)	14
3.2.1. Fases pedagógicas del sistema de conocimientos del MOSEIB	15
3.2.2. Educación Intercultural Bilingüe.....	15
3.3. Moodle.....	16
3.3.1. Características de Moodle	17
3.3.2. Recursos de Moodle	17
3.3.3. Actividades de Moodle.....	18
3.3.4. Roles de usuario en Moodle	18
3.4. Selección y justificación de la plataforma LMS.....	19
3.5. Cloud Computing.....	20
3.5.1. Características del Cloud Computing.....	20
3.5.2. Modelos de servicio del Cloud Computing.....	20
3.5.3. Infraestructura como Servicio (IaaS)	21
3.5.4. Aplicación del Cloud Computing en la propuesta	21
3.5.5. Justificación de la adopción del Cloud Computing	22
3.5.6. Modelos de despliegue de la nube.....	23
3.5.7. Criterios técnicos de selección del proveedor de infraestructura Cloud .	23
3.6. Usabilidad	26
3.7. Localización e internacionalización de software.....	26
3.7.1. El Kichwa en entornos digitales y el paquete de idioma de Moodle	26
3.7.2. Codificación lingüística normalizada: la norma ISO 639-3 y el código qvo	28
3.8. Seguridad de la información y protección de datos en entornos educativos	29
3.8.1. Marco legal educativo y de accesibilidad	30
3.9. Estado del arte.....	31
4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	33
4.1. Tipo y enfoque de la investigación.....	33

4.2.	Metodología de implementación del EVA: modelo ADDIE	34
4.2.1.	Justificación de la elección de ADDIE frente a modelos alternativos	34
4.2.2.	Estructura cíclica del modelo y flujo de artefactos entre fases	35
4.2.3.	Fase 1. Análisis	36
4.2.4.	Fase 2. Diseño	38
4.2.5.	Fase 3. Desarrollo.....	39
4.2.6.	Fase 4. Implementación.....	40
4.2.7.	Fase 5. Evaluación.....	41
4.2.8.	Matriz consolidada de artefactos e instrumentos por fase	42
4.3.	Población, muestra y criterios de inclusión.....	43
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de información	44
4.4.1.	Observación	44
4.4.2.	Encuesta diagnóstica	44
4.4.3.	Revisión documental	45
4.4.4.	Encuesta de usabilidad (Escala SUS).....	45
4.5.	Validación y confiabilidad de los instrumentos	46
4.6.	Plan de análisis estadístico	47
4.7.	Aspectos éticos.....	47
4.8.	Requerimientos del sistema	48
4.9.	Arquitectura de la solución e infraestructura Cloud.....	50
4.9.1.	Modelo de despliegue	50
4.9.2.	Pila de software	52
4.9.3.	Selección del panel de control: justificación técnica y económica de aaPanel	54
4.9.4.	Ruta de despliegue adoptada: Ubuntu Server, aaPanel y Moodle.....	57
4.9.5.	Criterios de configuración y ajuste del motor de base de datos.....	59
4.9.6.	Arquitectura de red y dominios	61
4.9.7.	Dimensionamiento por carga de usuarios.....	62
4.9.8.	Alcance de la arquitectura: componentes no incorporados y sus condiciones de adopción	65
4.10.	Desarrollo e implementación de la plataforma	66
4.10.1.	Etapas 1 del despliegue: aprovisionamiento del servidor e instalación de la pila base.....	66

4.10.2. Etapa 2 del despliegue: configuración DNS del dominio institucional	66
4.10.3. Etapa 3 del despliegue: publicación del sitio institucional (desarrollo a medida)	67
4.10.4. Etapa 4 del despliegue: publicación del campus virtual (Moodle)	67
4.10.5. Etapa 5 del despliegue: políticas de mitigación y sostenibilidad	68
4.10.6. Operación programada y caché de Moodle	71
4.10.7. Seguridad y endurecimiento del servidor	71
4.10.8. Esquema de monitoreo y observabilidad	74
4.11. Despliegue técnico: comandos y configuraciones de referencia	75
4.11.1. Conexión inicial y preparación del sistema operativo	76
4.11.2. Instalación de la pila LEMP	76
4.11.3. Configuración del servidor web para el campus virtual	76
4.11.4. Ajuste de PHP y del gestor de procesos PHP-FPM	78
4.11.5. Despliegue de Moodle y permisos del sistema de archivos	79
4.11.6. Almacén de caché en Redis	79
4.11.7. Certificados, transporte cifrado y tarea programada	81
4.11.8. Respaldos automatizados y verificación final de los servicios	82
4.12. Localización al Kichwa amazónico: proceso de construcción del paquete qvo	83
4.12.1. Sistema de niveles de confianza y trazabilidad de las cadenas	85
4.13. Requerimientos desde la perspectiva del usuario: historias de usuario y <i>backlog</i>	87
4.14. Diseño de las pruebas de funcionamiento	89
4.15. Protocolo de auditoría técnica de la infraestructura Cloud	90
4.16. Cronograma y presupuesto del proyecto	91
4.17. Matriz de riesgos del proyecto	93
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	95
5.1. Resultados del diagnóstico (línea base)	95
5.2. Resultados de la instalación y configuración de la plataforma	98
5.2.1. Servidor y panel de administración	98
5.2.2. Portal institucional	100
5.2.3. Campus virtual (Moodle)	100
5.2.4. Inventario de contenidos académicos creados	104

5.3.	Resultados de la implementación de Cloud Computing.....	106
5.3.1.	Paso 1. Despliegue y configuración de la máquina virtual con Ubuntu Server	106
5.3.2.	Paso 2. Instalación y configuración de aaPanel sobre el servidor Ubuntu	110
5.3.3.	Paso 3. Despliegue de la plataforma Moodle mediante aaPanel	115
5.3.4.	Verificación de la ruta de despliegue frente a la instalación directa . . .	120
5.3.5.	Caracterización de la infraestructura Cloud aprovisionada	120
5.3.6.	Verificación de los criterios de selección del proveedor	122
5.3.7.	Arquitectura por capas y estado verificado de cada una	123
5.3.8.	Comportamiento de los recursos computacionales	124
5.3.9.	Comportamiento del motor de base de datos	127
5.3.10.	Dimensionamiento y capacidad: identificación del recurso limitante . .	128
5.3.11.	Escalabilidad: mecanismo disponible y alcance no ejecutado	130
5.3.12.	Disponibilidad, respaldo y recuperación	131
5.3.13.	Seguridad de la infraestructura	132
5.3.14.	Continuidad operativa del procesamiento asincrónico	134
5.3.15.	Eficiencia económica de la infraestructura Cloud	135
5.3.16.	Síntesis: diseñado frente a obtenido	136
5.3.17.	De la infraestructura a la gestión de actividades asincrónicas	136
5.4.	Pruebas de funcionamiento	144
5.4.1.	Prueba de carga y concurrencia	144
5.4.2.	Prueba de respaldo y restauración	145
5.4.3.	Prueba del canal de correo saliente (SMTP)	146
5.4.4.	Prueba de certificados y transporte seguro (SSL/TLS)	147
5.4.5.	Verificación de adaptabilidad móvil y uso de la interfaz Kichwa	148
5.5.	Casos de prueba funcionales	151
5.6.	Evaluación de usabilidad mediante la Escala SUS	153
5.6.1.	Metodología de aplicación	153
5.6.2.	Resultado global	153

5.6.3. Resultados por ítem	154
5.6.4. Resultados por subgrupos y confiabilidad.....	156
5.7. Métricas de adopción de la plataforma	157
5.8. Análisis de costo-beneficio	159
5.8.1. Modelo de costos adoptado	159
5.8.2. Comparación con alternativas comerciales	160
5.8.3. Costo del esfuerzo de desarrollo.....	161
5.8.4. Costo total de propiedad (TCO)	162
5.8.5. Alternativa SaaS de referencia	163
5.9. Discusión	164
5.10. Respuesta a la pregunta de investigación	165
5.11. Limitaciones del estudio	167
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	170
6.1. Conclusiones.....	170
6.2. Recomendaciones	171
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	173
Anexos	177
Anexo A. Instrumentos de recolección de información.....	178
Anexo B. Reporte de análisis antiplagio.....	182
Anexo C. Aval de traducción del Abstract.....	183
Anexo D. Carta de aceptación de la institución receptora de la propuesta	184
Anexo E. Propuesta técnica presentada al Rectorado de la institución	186
Anexo F. Reporte del análisis externo de seguridad del transporte	195
Anexo G. Facturas y comprobantes de los servicios contratados	200
Anexo H. Reportes de la auditoría técnica de la infraestructura Cloud	203

Índice de figuras

3.1. Fases pedagógicas del sistema de conocimientos del MOSEIB.....	15
4.1. Ciclo ADDIE aplicado al proyecto	36
4.2. Flujo entrada–proceso–salida de las fases ADDIE	37
4.3. Alojamiento múltiple de sitios bajo un único panel	57
4.4. Ruta de despliegue Ubuntu, aaPanel y Moodle.....	58
4.5. Diagrama de flujo del procedimiento de despliegue	63
4.6. Arquitectura general de despliegue de la solución.	64
4.7. Estimación de diseño del consumo de memoria de PHP-FPM	64
4.8. Etapas del despliegue técnico de la plataforma.....	66
4.9. Proceso de construcción del paquete de idioma qvo	83
4.10. Tablero Kanban de las historias de usuario	88
4.11. Protocolo de auditoría técnica de la infraestructura Cloud	91
5.1. Resultados del diagnóstico de línea base.....	97
5.2. Autovaloración de competencias digitales, docentes vs. estudiantes.....	98
5.3. Dispositivo principal de acceso y disposición al uso del EVA	99
5.4. Panel de aaPanel con la pila LEMP instalada	100
5.5. Estado del servidor en aaPanel (producción).	100
5.6. Zona DNS del dominio institucional configurada en NIC.ec.....	101
5.7. Portal institucional en producción.....	101
5.8. Portal institucional publicado con certificado SSL activo.....	102
5.9. Pantalla de acceso del campus virtual.	102
5.10. Campus virtual con interfaz bilingüe Kichwa-Español	103
5.11. Estructura de un curso alineada al MOSEIB.....	103
5.12. Aislamiento del directorio moodledata (verificación).....	104
5.13. Aprovisionamiento de la máquina virtual en el proveedor.....	107
5.14. Consola de verificación de recursos del servidor	109
5.15. Tienda de aplicaciones de aaPanel con la pila instalada.....	112
5.16. Extensiones de PHP habilitadas desde el panel	113
5.17. Los tres sitios institucionales administrados desde el panel.....	114

5.18. Verificador de requisitos del instalador de Moodle	116
5.19. Gestor de bases de datos del panel de administración.....	117
5.20. Registro de trabajos agendados de Moodle	119
5.21. Panel del proveedor Hostinger con el VPS contratado	122
5.22. Arquitectura por capas de la solución	123
5.23. Panel de administración en operación normal.....	124
5.24. Panel de administración en pico de procesador.....	125
5.25. Monitor de recursos del panel de administración.....	125
5.26. Series históricas de disco, red y memoria de intercambio.....	126
5.27. Monitor de recursos en vista extendida.....	126
5.28. Monitor del sistema: retención y promedio de carga	127
5.29. Demanda máxima de memoria frente a la capacidad del nodo	129
5.30. Ocupación del almacenamiento externo según la retención.....	131
5.31. Tarea programada de respaldo diario	132
5.32. Reglas de puerto activas en el cortafuegos.....	133
5.33. Resumen de seguridad del panel de administración.....	133
5.34. Cadena de condiciones de la infraestructura a lo asincrónico	136
5.35. Configuración de la pasarela SMTP en Moodle.....	147
5.36. Campus virtual en pantalla de teléfono inteligente	150
5.37. Flujo de uso típico de un estudiante	151
5.38. Puntaje SUS frente a los umbrales de referencia.....	153
5.39. Distribución de los puntajes SUS individuales	154
5.40. Puntuación promedio por ítem del cuestionario SUS ($n = 38$).	155
5.41. Puntaje SUS promedio por subgrupo.	156

Índice de tablas

1.1. Áreas de conocimiento UNESCO.	2
2.1. Adscripción del proyecto a la línea UNESCO 0613	9
2.2. Sistema de tareas por fase de ejecución del proyecto.....	12
3.1. Gestión de actividades asincrónicas.....	18
3.2. Comparación de plataformas LMS de código abierto	19

3.3. Comparación de los modelos de servicio del Cloud Computing.....	21
3.4. Comparación de los modelos de despliegue de la nube	24
3.5. Comparación técnica de proveedores IaaS	25
3.6. Códigos ISO 639-3 de las variantes kichwa del Ecuador.....	28
3.7. Ficha del código lingüístico adoptado.....	29
3.8. Estado del arte: comparación de trabajos afines.....	32
4.1. Comparación de modelos de diseño instruccional	35
4.2. Correspondencia entre las fases ADDIE y el proyecto	37
4.3. Matriz de artefactos e instrumentos por fase ADDIE	43
4.4. Ficha técnica de la encuesta diagnóstica.	45
4.5. Matriz de requerimientos funcionales y no funcionales.....	49
4.6. Disponibilidad del servicio por franja horaria.....	51
4.7. Costos del primer año: servidor local frente a nube.....	51
4.8. Especificaciones del servidor contratado	52
4.9. Latencia estimada por centro de datos	53
4.10. Pila de software implementada.	53
4.11. Versiones exactas del software desplegado.	55
4.12. Comparación de paneles de control de servidor.....	56
4.13. Ruta con panel frente a instalación directa de Moodle.....	59
4.14. Lista de verificación del despliegue por pasos	60
4.15. Componentes Cloud no incorporados y su condición de adopción.....	65
4.16. Conexión inicial y preparación del sistema operativo.	76
4.17. Instalación de la pila LEMP (Nginx, MySQL, PHP).	77
4.18. Parámetros de PHP y del gestor de procesos.....	79
4.19. Despliegue de Moodle y configuración de permisos.....	80
4.20. Instalación y habilitación de Redis como almacén de caché.	80
4.21. Certificados SSL/TLS y tarea programada de Moodle	81
4.22. Respaldos automatizados y verificación final de los servicios.	82
4.23. Niveles de confianza de las cadenas del paquete qvo.....	85
4.24. Trazabilidad de las cadenas del paquete qvo	86
4.25. Historias de usuario del entorno virtual de aprendizaje.	87

4.26. Evolución mensual del <i>backlog</i>	88
4.27. Dimensiones de la auditoría técnica.....	92
4.28. Cronograma de ejecución del proyecto.....	93
4.29. Presupuesto del proyecto de titulación.	93
4.30. Matriz de riesgos del proyecto.....	94
5.1. Resultados de la ficha de observación institucional.	95
5.2. Resultados de la encuesta diagnóstica por indicador.....	96
5.3. Autovaloración de competencias digitales por ítem	96
5.4. Inventario de cursos, recursos y actividades	104
5.5. Verificación de la ruta de despliegue adoptada	120
5.6. Caracterización de la capa IaaS: declarado frente a medido	121
5.7. Verificación de los criterios de selección del proveedor	138
5.8. Estado verificado de la capa de servicios	139
5.9. Consumo de recursos del servidor en operación normal.....	139
5.10. Verificación de la configuración del motor de datos	140
5.11. Memoria por proceso de PHP-FPM (RSS, PSS y USS).....	140
5.12. Cota superior de demanda de memoria frente a la capacidad	140
5.13. Los tres conceptos de disponibilidad y su estado.....	141
5.14. Volumen real del respaldo y ocupación proyectada	141
5.15. Matriz de seguridad de la infraestructura por capa	142
5.16. Indicadores unitarios de eficiencia económica.....	142
5.17. Cloud Computing: diseñado frente a obtenido.....	143
5.18. Resultados de la prueba de carga y concurrencia.	144
5.19. Resultados de la prueba de respaldo y restauración.	145
5.20. Resultados de la prueba de correo saliente.....	146
5.21. Resultados de la prueba de transporte seguro.	148
5.22. Verificación de adaptabilidad móvil y de idioma	149
5.23. Casos de prueba funcionales ejecutados	152
5.24. Resultados agregados de la encuesta SUS por ítem.	155
5.25. Puntajes SUS por subgrupo de usuarios.....	156
5.26. Métricas de adopción de la plataforma	157

5.27. Desglose de costos anuales del modelo implementado	159
5.28. Costo anual recurrente: modelo propio y comercial	160
5.29. Costo del esfuerzo de desarrollo por días-hombre	161
5.30. Síntesis de la evidencia por componente del objetivo general.	166

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A.	Instrumentos de recolección de información (ficha de observación, cuestionario diagnóstico y cuestionario SUS).
Anexo B.	Reporte de análisis antiplagio.
Anexo C.	Aval de traducción del Abstract.
Anexo D.	Carta de aceptación de la institución receptora de la propuesta.
Anexo E.	Propuesta técnica presentada al Rectorado de la institución.
Anexo F.	Reporte del análisis externo de seguridad del transporte (Qualys SSL Labs) del campus virtual.
Anexo G.	Facturas y comprobantes de los servicios contratados.
Anexo H.	Reportes de la auditoría técnica de la infraestructura Cloud (salidas de consola, consultas SQL y verificaciones de transporte del 14 de agosto de 2026).

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del trabajo:	Implementación de un Entorno Virtual de Aprendizaje basado en Moodle y Cloud Computing, alineado a las fases pedagógicas del MOSEIB en idioma Kichwa-Español, para la gestión de actividades asincrónicas en las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz de la UECIB San Francisco de Asís, Loreto, Orellana.
Título abreviado:	Entorno Virtual de Aprendizaje con Moodle y Cloud Computing alineado al MOSEIB (Kichwa-Español)
Modalidad de Titulación:	Propuesta Tecnológica
Trabajo de Titulación vinculado a proyecto de investigación:	No aplica.
Autor:	Sr. Boris Geancarlos Pardo Pinza
Docente tutor:	PhD. Juan Carlos Chancusig Chisag
Tribunal de lectores:	Mgtr. René Quisaguano (Presidente del Tribunal); Mgtr. Diego Falconí (Lector 2); Mgtr. Karla Cantuña (Lectora 3)
Equipo de trabajo:	PhD. Juan Carlos Chancusig Chisag (tutor) y Sr. Boris Geancarlos Pardo Pinza (autor).
Facultad:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)
Carrera:	Sistemas de Información
Fecha de inicio:	9 de abril de 2026
Fecha de finalización:	15 de agosto de 2026
Lugar de ejecución:	UECIB San Francisco de Asís, comunidad San Francisco de Asís, cantón Loreto, provincia de Orellana

Área de Conocimiento:

La Tabla 1.1 presenta la clasificación del trabajo conforme a la Nomenclatura Internacional de la UNESCO para los campos de ciencia y tecnología, resaltando en negrita la línea específica a la que se alinea la propuesta. La argumentación técnica que sustenta esta clasificación, y en particular por qué corresponde a la línea 0613 y no a la 0612, se desarrolla en la sección 2.3.3.

Línea de investigación: Tecnología de la información y las comunicaciones, robótica, automatización y optimización de sistemas.

Tabla 1.1. Áreas de conocimiento UNESCO.

06 Información y Comunicación (TIC)	
061 Información y Comunicación (TIC)	0611 El uso del ordenador 0612 Base de datos, diseño y administración de redes 0613 Software, y desarrollo y análisis de aplicativos

Fuente: Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (CINE-UNESCO).

Sublínea de investigación de la Carrera de Sistemas de Información: Ciencias informáticas para la modelación y automatización de sistemas a través de las TIC.

Dominio académico: Tecnología de la información y las comunicaciones, robótica, automatización y optimización de sistemas.

Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) asociado: ODS 9 — Industria, innovación e infraestructura.

2 INTRODUCCIÓN

La incorporación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en los procesos educativos se ha convertido en una necesidad para fortalecer la calidad de la enseñanza y ampliar las oportunidades de aprendizaje de los estudiantes. En los últimos años, las plataformas virtuales de aprendizaje han adquirido un papel relevante dentro de los sistemas educativos, ya que permiten gestionar contenidos académicos, facilitar la comunicación entre docentes y estudiantes y desarrollar actividades de aprendizaje más flexibles, especialmente en modalidades asincrónicas.

En el contexto de la Educación Intercultural Bilingüe del Ecuador, la integración de herramientas tecnológicas representa un desafío importante debido a las características geográficas, culturales y lingüísticas de las comunidades donde se desarrollan los procesos educativos. En este sentido, resulta fundamental que las soluciones tecnológicas implementadas respondan no solo a necesidades técnicas, sino también a los principios pedagógicos y culturales establecidos por el Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB), garantizando la pertinencia de los recursos utilizados dentro del proceso formativo.

Frente a esta realidad, la presente investigación propone la implementación de un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) basado en Moodle y desplegado sobre infraestructura Cloud Computing. Esta propuesta busca proporcionar una plataforma accesible, sostenible y adaptable a las condiciones de conectividad de la institución, facilitando la gestión de las actividades asincrónicas y fortaleciendo el proceso de enseñanza-aprendizaje en las áreas técnicas de formación.

Finalmente, se espera que los resultados obtenidos contribuyan al fortalecimiento de las competencias digitales de docentes y estudiantes, mejoren el acceso a los recursos educativos virtuales y sirvan como referencia para futuras iniciativas de integración tecnológica dentro de instituciones pertenecientes al Sistema de Educación Intercultural Bilingüe del Ecuador.

El presente trabajo se organiza en seis capítulos. El capítulo 1 consigna la información general del proyecto exigida por el instructivo institucional. El capítulo 2 expone los antecedentes, la formulación del problema, la justificación, los beneficiarios, los objetivos y el sistema de tareas. El capítulo 3 desarrolla el marco teórico: entornos virtuales de aprendizaje, el modelo MOSEIB, la plataforma Moodle y su justificación comparativa, el Cloud Computing, la usabilidad, la localización de software y el marco legal y de seguridad de la información, y cierra con el estado del arte de trabajos afines. El capítulo 4 describe los métodos y procedimientos: paradigma, enfoque y diseño de la investigación, población e instrumentos, aspectos éticos, requerimientos del sistema, arquitectura de la solución, fases de implementación, diseño de pruebas, cronograma, presupuesto y matriz de riesgos. El capítulo 5 presenta el análisis de resultados (diagnóstico, implementación, pruebas de funcionamiento, evaluación de usabilidad, métricas de adopción y

análisis de costo-beneficio), junto con la discusión y las limitaciones del estudio. Finalmente, el capítulo 6 formula las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo.

2.1 Antecedentes

El uso de plataformas de gestión del aprendizaje (*Learning Management System*, LMS) ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años debido a la necesidad de fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje mediante herramientas digitales. Entre las plataformas más utilizadas a nivel mundial se encuentra Moodle, por su naturaleza de código abierto, su flexibilidad y su capacidad de adaptación a distintos contextos educativos. Una revisión sistemática realizada por Gamage, Ayres y Behrend evidenció que Moodle ha sido ampliamente implementado en instituciones educativas para la administración de contenidos, la evaluación del aprendizaje y el fortalecimiento de la interacción entre docentes y estudiantes, con resultados positivos en la mejora de los procesos formativos [1]. Asimismo, Cabero-Almenara, Arancibia y Del Prete concluyen que el uso adecuado de Moodle no solo requiere conocimientos técnicos, sino también una adecuada integración pedagógica para potenciar los resultados educativos [2].

En el contexto ecuatoriano, diversas investigaciones han analizado la implementación de Moodle en instituciones educativas. Arreaga determinó que el uso de esta plataforma influye positivamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje, al facilitar el acceso a recursos educativos y mejorar la comunicación académica entre docentes y estudiantes [3]. De manera similar, un estudio desarrollado en la Unidad Educativa del Milenio Intercultural Bilingüe Chibuleo implementó un sistema de respaldo basado en Cloud Computing para fortalecer la seguridad de la plataforma Moodle institucional, evidenciando que las tecnologías en la nube constituyen una alternativa eficiente para mejorar la disponibilidad, la escalabilidad y la protección de la información académica [4]. Estos resultados demuestran la viabilidad de integrar Moodle y Cloud Computing en entornos educativos con características similares a las de las instituciones interculturales bilingües del país.

Por otra parte, diversos estudios han destacado la importancia de evaluar la usabilidad de los entornos virtuales de aprendizaje para garantizar una experiencia satisfactoria a los usuarios. Orfanou, Tselios y Katsanos validaron el uso de la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS) como instrumento confiable para evaluar plataformas LMS, incluyendo Moodle, y concluyeron que la percepción de facilidad de uso influye directamente en la aceptación y el aprovechamiento de estas herramientas educativas [5]. Investigaciones más recientes también han demostrado que Moodle puede alcanzar niveles adecuados de satisfacción y aceptación cuando su diseño responde a las necesidades específicas de los usuarios y del contexto educativo en el que se implementa [6]. Estos antecedentes respaldan la necesidad de evaluar la usabilidad de la plataforma propuesta para la UECIB San Francisco de Asís como parte fundamental del proceso de implementación.

A pesar de los avances identificados en la literatura, se observa una limitada evidencia sobre la implementación de entornos virtuales de aprendizaje alineados específicamente al Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) y adaptados a contextos bilingües Kichwa-Español. En consecuencia, la presente investigación busca contribuir a este campo mediante la implementación de un entorno virtual de aprendizaje basado en Moodle y Cloud Computing, alineado a las fases pedagógicas del MOSEIB, para la gestión de actividades asincrónicas en las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz de la UECIB San Francisco de Asís. Los trabajos aquí referidos se sistematizan de manera comparativa en el estado del arte del marco teórico (sección 3.9).

2.2 Identificación y formulación del problema

2.2.1 Situación problemática

La incorporación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) ha permitido que las instituciones educativas fortalezcan sus procesos de enseñanza mediante el uso de plataformas virtuales de aprendizaje, facilitando el acceso a recursos académicos, la comunicación entre docentes y estudiantes y el desarrollo de actividades fuera del aula tradicional. En este contexto, los entornos virtuales de aprendizaje, especialmente aquellos basados en sistemas de gestión del aprendizaje (LMS), se han consolidado como herramientas que favorecen el aprendizaje autónomo y la continuidad de los procesos educativos [1].

En la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe San Francisco de Asís, ubicada en el cantón Loreto, provincia de Orellana, se evidencia que las actividades académicas continúan desarrollándose principalmente de forma presencial y mediante herramientas de comunicación no diseñadas para fines educativos, lo que dificulta la organización de contenidos, el seguimiento de tareas y la retroalimentación a los estudiantes. Esta situación es más notoria en las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz, donde el acceso a recursos técnicos, material multimedia y actividades asincrónicas constituye un apoyo importante para el proceso formativo.

Adicionalmente, la institución no dispone de un entorno virtual de aprendizaje que responda a las características del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe ni que permita integrar las fases pedagógicas del Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) dentro de los procesos académicos. Como consecuencia, los docentes cuentan con herramientas limitadas para gestionar sus cursos y los estudiantes no disponen de un espacio centralizado para acceder a contenidos, realizar actividades y dar seguimiento a su proceso de aprendizaje.

Esta situación se inscribe, además, en la brecha digital que afecta a la región amazónica ecuatoriana y, en particular, a las instituciones del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe, donde el acceso a conectividad, equipamiento y servicios digitales educativos es menor que en las zonas

urbanas del país. Según cifras del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), a través de la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU), en 2024 el acceso a internet en los hogares del área rural del país alcanzó apenas el 48,1 %, frente al 73,6 % de los hogares urbanos y al 66,0 % del promedio nacional, una brecha de 25,5 puntos porcentuales entre área rural y urbana [7]. Esta disparidad se profundiza en el analfabetismo digital de la población de 15 a 49 años, que en 2024 fue de apenas 1,9 % en el área urbana frente a 14,1 % en el área rural [7]. El INEC no publica estos indicadores desglosados por provincia; sin embargo, dado que la UECIB San Francisco de Asís se ubica en una zona rural de la provincia de Orellana, la brecha urbano-rural nacional constituye la evidencia oficial más próxima disponible para dimensionar la situación de conectividad de la institución.

De lo anterior se desprende la necesidad institucional que origina este trabajo: la UECIB San Francisco de Asís requiere un espacio digital propio que centralice los recursos, las actividades y el seguimiento del proceso formativo fuera del horario presencial, y que sea coherente con el modelo educativo intercultural bilingüe bajo el cual opera. A partir de esa necesidad se formula el siguiente problema de investigación: ¿cómo afecta a la gestión de las actividades académicas asincrónicas de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz de la UECIB San Francisco de Asís la ausencia de un entorno virtual de aprendizaje institucional que centralice los contenidos, las tareas y el seguimiento del aprendizaje, y que responda a las fases pedagógicas del MOSEIB y al carácter bilingüe Kichwa-Español de la comunidad educativa?

La respuesta a esta pregunta orienta la propuesta tecnológica que se desarrolla en los capítulos siguientes: caracterizar la situación derivada de esa ausencia y atenderla mediante la implementación de un entorno virtual de aprendizaje ajustado a las condiciones reales de la institución.

2.2.2 Análisis y alcance del problema

La problemática identificada se centra en la ausencia de un entorno virtual de aprendizaje que permita gestionar de manera organizada las actividades académicas asincrónicas en la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe San Francisco de Asís. Esta situación afecta principalmente a docentes y estudiantes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz, quienes actualmente disponen de recursos limitados para compartir contenidos, realizar el seguimiento de tareas y mantener una interacción académica continua fuera del horario presencial. Como consecuencia, el acceso a materiales de apoyo, evaluaciones y recursos digitales se desarrolla mediante herramientas que no fueron diseñadas específicamente para la gestión educativa.

El alcance de la propuesta comprende el diseño, la implementación y la configuración de un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) basado en el sistema de gestión del aprendizaje Moodle, desplegado sobre infraestructura Cloud Computing y adaptado al contexto de la Educación

Intercultural Bilingüe. La plataforma está orientada a la gestión de actividades asincrónicas, incorporando recursos educativos, tareas, evaluaciones y herramientas de comunicación, organizadas de acuerdo con las fases pedagógicas del MOSEIB. Asimismo, contempla la configuración de una interfaz bilingüe Kichwa-Español que facilite la interacción de los usuarios con el sistema.

La propuesta tecnológica se limita a la implementación y validación del entorno virtual dentro de la UECIB San Francisco de Asís, considerando como población de estudio a los docentes y estudiantes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz. No contempla el desarrollo de una plataforma propia, la modificación del código fuente de Moodle ni la ampliación de la solución hacia otras instituciones educativas. De manera complementaria, el alcance incluye el despliegue del portal web institucional (sitio desarrollado a medida en HTML, CSS y JavaScript, con procesamiento de formularios en PHP) sobre la misma infraestructura, como parte de la habilitación de los servicios digitales institucionales (dominio, portal y campus) contemplados en la propuesta técnica presentada al Rectorado de la institución (Anexo E); el portal no es objeto de evaluación de usabilidad, pero sí de las pruebas de funcionamiento de la infraestructura compartida. Finalmente, la evaluación del proyecto se realiza mediante pruebas de funcionamiento y la aplicación de la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS), con el propósito de determinar la usabilidad percibida de la plataforma implementada, complementada con métricas de adopción obtenidas de los reportes del propio sistema.

El estudio opera con una doble unidad de análisis que conviene delimitar de manera explícita. Por una parte, la unidad de diagnóstico y evaluación está conformada por los 38 integrantes de las dos figuras profesionales (8 docentes técnicos y 30 estudiantes), sobre quienes se aplican la encuesta diagnóstica y la Escala SUS mediante censo. Por otra parte, la unidad de dimensionamiento y de políticas operativas corresponde a la matrícula institucional completa (240 estudiantes matriculados, con una capacidad máxima proyectada de 300), pues la infraestructura contratada, la proyección de concurrencia y las políticas de sostenibilidad (cierres escalonados, respaldos, correo) se diseñaron para el uso de toda la institución. En consecuencia, los resultados de usabilidad y de diagnóstico son generalizables únicamente a las dos figuras profesionales evaluadas, mientras que la verificación del dimensionamiento se sustenta en las pruebas de carga que simulan la concurrencia proyectada para la matrícula total.

2.3 Justificación

La presente propuesta tecnológica surge de la necesidad de fortalecer la gestión de las actividades académicas asincrónicas en la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe San Francisco de Asís, donde no se disponía de un entorno virtual de aprendizaje que facilitara la organización de contenidos, la entrega de tareas, la aplicación de evaluaciones y el seguimiento del proceso formativo. Esta limitación reducía las posibilidades de aprovechar los recursos digitales como

complemento de las actividades presenciales y dificultaba el desarrollo de competencias tecnológicas en los docentes y estudiantes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz. La pertinencia del proyecto se ve reforzada, además, por tratarse de una necesidad institucional real y formalizada ante la máxima autoridad de la unidad educativa, mediante la propuesta técnica presentada al Rectorado para la habilitación del dominio .edu.ec y del hosting institucional (Anexo E); a partir de su aprobación, el Rectorado facilitó la documentación institucional requerida para la contratación del dominio.

Con la implementación de un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) basado en Moodle y desplegado sobre infraestructura Cloud Computing, se busca proporcionar una solución tecnológica accesible, funcional y adaptable a las necesidades de la institución. La plataforma permite centralizar la gestión de los recursos educativos, las actividades asincrónicas y los procesos de evaluación, además de integrar las fases pedagógicas del MOSEIB mediante una interfaz bilingüe Kichwa-Español, favoreciendo un entorno de aprendizaje acorde con el contexto educativo de la comunidad.

La propuesta contribuye al fortalecimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje mediante el uso de tecnologías digitales, mejorando la disponibilidad de materiales educativos y facilitando la interacción entre docentes y estudiantes fuera del horario presencial. Asimismo, se espera que la solución implementada sirva como una alternativa tecnológica que pueda ser tomada como referencia por otras instituciones pertenecientes al Sistema de Educación Intercultural Bilingüe interesadas en incorporar entornos virtuales de aprendizaje acordes con sus necesidades pedagógicas y culturales.

2.3.1 Objeto de investigación

El objeto de investigación es la gestión de actividades de aprendizaje asincrónicas mediante entornos virtuales de aprendizaje en instituciones de Educación Intercultural Bilingüe, considerando la integración de tecnologías educativas, recursos digitales y estrategias pedagógicas orientadas al fortalecimiento del proceso de enseñanza y aprendizaje.

2.3.2 Campo de acción

El campo de acción se centra en la implementación de un Entorno Virtual de Aprendizaje basado en Moodle y Cloud Computing, alineado a las fases pedagógicas del Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) y con interfaz bilingüe Kichwa-Español, para la gestión de actividades asincrónicas en las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz de la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe San Francisco de Asís, ubicada en el cantón Loreto, provincia de Orellana.

2.3.3 Clasificación del proyecto en el área de conocimiento

La Nomenclatura Internacional de la UNESCO para los campos de ciencia y tecnología¹ ubica el presente trabajo en el área 06 Información y Comunicación (TIC), subárea 061 Información y Comunicación (TIC) y línea específica 0613 Software, y desarrollo y análisis de aplicativos (Tabla 1.1). Dado que la subárea 061 contiene también la línea 0612 (Base de datos, diseño y administración de redes), y que este proyecto comprende efectivamente el aprovisionamiento de un servidor, la administración de una base de datos MySQL y la configuración de protocolos de seguridad de red, conviene explicitar el criterio que fundamenta la adscripción a 0613 y no a 0612.

El criterio decisivo es la distinción entre medio y fin. La línea 0612 corresponde a proyectos cuyo objeto es la infraestructura en sí misma, el diseño de una topología de red, la administración de un motor de base de datos o el dimensionamiento de un centro de datos, y cuyo entregable se agota en dicha infraestructura configurada. La línea 0613, en cambio, comprende la implementación, la configuración, la validación y el análisis de sistemas de software aplicativos operando en contextos reales de uso. En este trabajo, el servidor, la base de datos y el transporte cifrado son medios instrumentales para sostener un aplicativo educativo (Moodle LMS); el fin y el entregable central es una plataforma de software operativa, localizada lingüísticamente, estructurada conforme a un modelo pedagógico y validada con sus usuarios finales. La Tabla 2.1 contrasta ambas líneas frente a las características verificables del proyecto.

Tabla 2.1. Criterios de adscripción del proyecto a la línea UNESCO 0613 frente a la línea 0612.

Criterio	0612 (bases de datos y redes)	0613 (software y análisis de aplicativos)	Característica de este proyecto
Naturaleza del entregable	Servidor, red o motor de base de datos configurado	Aplicativo desplegado, evaluado y en uso	Moodle LMS en producción sobre campus.uecibsf.edu.ec
Objeto principal	La infraestructura como fin	El sistema de software en su contexto operacional	La infraestructura es medio; el fin es el EVA institucional
Tipo de análisis realizado	Configuración, rendimiento de red y almacenamiento	Funcionalidad, usabilidad, experiencia de usuario y rendimiento del aplicativo	Escala SUS ($n = 38$), pruebas de carga con JMeter, métricas de adopción
Usuarios considerados	Administradores de sistemas	Usuarios finales del aplicativo	Docentes y estudiantes de la comunidad educativa
Dimensión adicional	Exclusivamente técnica	Técnica más funcional o pedagógica	Estructura de cursos por fases del MOSEIB y localización al Kichwa

Fuente: elaboración propia.

Los componentes del trabajo que confirman esta adscripción se agrupan en tres dimensiones. En la dimensión técnico-operacional se sitúan el diseño de la arquitectura de despliegue, la

¹La Nomenclatura Internacional de la UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología clasifica el conocimiento en áreas, subáreas y líneas específicas; su uso es requerido por el instructivo de titulación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas para declarar el área de conocimiento del trabajo.

administración de la base de datos, la configuración del transporte cifrado TLS 1.2/1.3, la política de respaldos y las pruebas de carga. En la dimensión funcional y de usabilidad se ubican la localización de la interfaz al Kichwa amazónico, la estructuración pedagógica de los cursos y la evaluación de la usabilidad percibida mediante un instrumento estandarizado aplicado a usuarios reales. En la dimensión de validación en producción se encuentran la operación académica efectiva desde el 6 de junio de 2026, la prueba de restauración controlada y el monitoreo del sistema en condiciones reales. La coexistencia de estas tres dimensiones, y no solo de la primera, es lo que caracteriza un análisis integral de aplicativo y sustenta la clasificación 0613.

2.4 Beneficiarios

2.4.1 Directos

Los beneficiarios directos del proyecto son los estudiantes y docentes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz de la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe San Francisco de Asís. Los estudiantes disponen de un entorno virtual que facilita el acceso a recursos educativos, actividades asincrónicas, evaluaciones y materiales de apoyo para su formación técnica. Por su parte, los docentes cuentan con una plataforma que les permite gestionar contenidos académicos, realizar el seguimiento de actividades y fortalecer los procesos de enseñanza mediante herramientas tecnológicas alineadas al modelo pedagógico institucional.

2.4.2 Indirectos

Los beneficiarios indirectos corresponden a las autoridades de la institución, quienes disponen de una herramienta tecnológica para apoyar la gestión académica; los representantes legales de los estudiantes, quienes pueden verse favorecidos por un mejor acceso a los procesos educativos de sus hijos; y la comunidad educativa en general, que cuenta con una experiencia formativa fortalecida mediante el uso de tecnologías digitales. Asimismo, el proyecto podrá servir como referencia para otras instituciones del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe interesadas en implementar entornos virtuales de aprendizaje alineados al modelo MOSEIB.

2.5 Objetivo general

Implementar un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) basado en el sistema de gestión del aprendizaje Moodle, desplegado sobre infraestructura Cloud Computing y alineado a las fases pedagógicas del Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB), para mejorar la organización, el acceso y el seguimiento de las actividades asincrónicas en las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz de la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe San Francisco de Asís, evaluado mediante la usabilidad percibida y métricas de adopción de la plataforma.

2.6 Objetivos específicos

- **Analizar** (fase ADDIE de Análisis) las necesidades pedagógicas, tecnológicas y culturales de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz, mediante el diagnóstico institucional y la revisión bibliográfica sobre implementaciones de Moodle, Cloud Computing y el modelo MOSEIB en revistas científicas, para obtener un marco teórico sólido y una línea base que sustente el diseño del EVA.
- **Diseñar** (fase ADDIE de Diseño) la arquitectura Cloud del LMS (Learning Management System), sus criterios técnicos de dimensionamiento, seguridad y selección del proveedor de infraestructura, y la estructura de cursos virtuales alineada a las cuatro fases pedagógicas del sistema de conocimientos del MOSEIB, con interfaz bilingüe Kichwa-Español.
- **Implementar y evaluar** (fases ADDIE de Desarrollo, Implementación y Evaluación) la plataforma Moodle sobre la infraestructura Cloud diseñada, con contenidos técnicos para las asignaturas de las figuras profesionales y con las políticas de seguridad, sostenibilidad y respaldo definidas en el diseño, verificando su funcionamiento técnico, su usabilidad percibida y su adopción real mediante pruebas de funcionamiento, la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS) y métricas de uso, con el fin de promover la mejora continua de la plataforma.

2.7 Tareas por fase de ejecución del proyecto

La Tabla 2.2 relaciona cada uno de los tres objetivos específicos del proyecto, correspondientes a las fases del modelo ADDIE (Análisis; Diseño; y Desarrollo, Implementación y Evaluación integradas; ver sección 4.2), con sus actividades, los resultados esperados (formulados en términos cuantificables y verificables), las técnicas, medios e instrumentos empleados y el tiempo efectivamente invertido. La suma de las tres filas de la columna de tiempo (160 horas) corresponde al recurso humano valorizado en el presupuesto del proyecto (Tabla 4.29).

Tabla 2.2. Sistema de tareas por fase de ejecución del proyecto.

Objetivo específico	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos	Tiempo estimado
Objetivo 1 (Análisis). Analizar las necesidades pedagógicas, tecnológicas y culturales mediante el diagnóstico de la infraestructura, la conectividad y la alfabetización digital de docentes y estudiantes, y la revisión bibliográfica.	1.1 Realizar tres visitas de observación institucional con ficha estructurada. 1.2 Diseñar y aplicar por censo la encuesta diagnóstica a docentes y estudiantes. 1.3 Revisar la documentación del MOSEIB, de Moodle y la propuesta institucional. 1.4 Tabular y analizar los datos en hoja de cálculo.	Línea base documentada con: ficha de observación de 4 dimensiones completada; 38 encuestas tabuladas (100 % de respuesta); 5 indicadores cuantitativos de acceso, competencias y disposición; matriz de necesidades con 4 requerimientos derivados.	<i>Técnicas:</i> observación estructurada, encuesta y revisión documental. <i>Medios:</i> visitas institucionales y formularios digitales. <i>Instrumentos:</i> ficha de observación, cuestionario diagnóstico y matriz de análisis documental.	28 h (9–15 abr. 2026)
Objetivo 2 (Diseño). Diseñar la arquitectura Cloud del LMS y la estructura de cursos alineada a las fases del MOSEIB, con interfaz bilingüe Kichwa-Español.	2.1 Consolidar la matriz de requerimientos funcionales y no funcionales. 2.2 Dimensionar la infraestructura por carga de usuarios. 2.3 Seleccionar el LMS mediante matriz comparativa ponderada. 2.4 Diseñar la plantilla de curso por fases del MOSEIB. 2.5 Definir el alcance del paquete de idioma Kichwa.	Diseño técnico y pedagógico aprobado: 8 RF y 8 RNF especificados; diagrama de arquitectura de despliegue; dimensionamiento justificado para 60 usuarios concurrentes; plantilla de curso de 4 secciones (una por fase del MOSEIB); alcance de 73 cadenas núcleo para el paquete qvo.	<i>Técnicas:</i> análisis documental y modelado de sistemas. <i>Medios:</i> documentación oficial de Moodle y herramientas de diagramación. <i>Instrumentos:</i> matriz de requerimientos (Tabla 4.5), matriz de selección del LMS y diagramas de arquitectura.	32 h (abr.–may. 2026)
Objetivo 3 (Desarrollo, Implementación y Evaluación). Implementar y configurar la plataforma Moodle con contenidos técnicos para las asignaturas de las figuras profesionales, y evaluar su funcionamiento, usabilidad y adopción.	3.1 Aprovechamiento del VPS e instalar la pila LEMP. 3.2 Configurar el DNS del dominio institucional. 3.3 Desplegar el portal y el campus con certificados SSL. 3.4 Construir e instalar el paquete de idioma qvo. 3.5 Crear roles, categorías, cursos y contenidos. 3.6 Aplicar las políticas de sostenibilidad y endurecimiento. 3.7 Ejecutar las pruebas de funcionamiento con umbrales a priori y los casos de prueba funcionales. 3.8 Aplicar por censo el cuestionario SUS tras 4 semanas de uso real. 3.9 Extraer las métricas de adopción de los reportes de Moodle. 3.10 Calcular estadísticos descriptivos, alfa de Cronbach y contraste por subgrupos.	Plataforma operativa, verificable y evaluada: 2 sitios en producción con calificación SSL A+; 6 cursos con 12 recursos, 6 tareas, 6 cuestionarios y 12 foros; 3 roles configurados; 248 cuentas creadas; paquete qvo v0.1 instalado; respaldo diario automatizado activo; 4 pruebas de funcionamiento aprobadas; 12 casos de prueba funcionales superados; puntaje SUS global con desagregación por subgrupo y α de Cronbach; 8 métricas de adopción del período de operación real.	<i>Técnicas:</i> implementación tecnológica, pruebas de humo, encuesta, prueba de carga y análisis estadístico descriptivo. <i>Medios:</i> VPS Hostinger KVM 2, aaPanel, Moodle 4.3 LTS, Apache JMeter 5.6.2, reportes de Moodle y hoja de cálculo. <i>Instrumentos:</i> lista de verificación de despliegue, registro de comandos (sección 4.11), bitácora de configuración, cuestionario SUS de 10 ítems, plan de prueba de carga (sección 4.14) y matriz de resultados.	100 h (may.–jul. 2026)
Total de horas invertidas				160 h

Fuente: elaboración propia.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA)

Los Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA) son espacios digitales diseñados para facilitar el desarrollo de procesos educativos mediante el uso de las tecnologías de la información y la comunicación. Estos entornos integran recursos, herramientas y actividades que permiten la interacción entre docentes y estudiantes, favoreciendo el acceso a los contenidos académicos desde diferentes lugares y horarios. Su principal propósito es apoyar la enseñanza y el aprendizaje a través de medios digitales, promoviendo una mayor flexibilidad en la gestión de las actividades educativas [8].

Los EVA han adquirido gran relevancia dentro de las instituciones educativas debido a su capacidad para complementar y fortalecer los procesos de enseñanza tradicionales. A través de estos entornos es posible distribuir materiales de estudio, gestionar tareas, realizar evaluaciones, fomentar la comunicación mediante foros y facilitar el seguimiento del progreso académico de los estudiantes. Estas características permiten optimizar la organización de los cursos y mejorar la accesibilidad a los recursos educativos.

Desde una perspectiva pedagógica, un EVA no debe entenderse únicamente como un repositorio de documentos digitales, sino como un ambiente que integra componentes pedagógicos, tecnológicos y comunicativos para apoyar el desarrollo del proceso formativo. Entre sus principales características se encuentran la disponibilidad permanente de los recursos, la posibilidad de desarrollar actividades sincrónicas y asincrónicas, el seguimiento del progreso del estudiante y la facilidad para incorporar recursos multimedia que enriquecen la experiencia de aprendizaje [9].

3.1.1 Modalidades sincrónica y asincrónica

Dentro de la educación virtual se distinguen dos modalidades principales de interacción: la sincrónica y la asincrónica. En la modalidad sincrónica, docentes y estudiantes coinciden en un mismo momento y la comunicación se produce en tiempo real, generalmente mediante videoconferencias, aulas virtuales o chats en vivo; su principal ventaja es la retroalimentación inmediata y la interacción directa, aunque exige coincidencia horaria y una conexión estable [9]. En la modalidad asincrónica, en cambio, el docente organiza previamente los contenidos y actividades, y el estudiante accede a ellos a su propio ritmo, sin necesidad de coincidir en tiempo con el resto del grupo; esto otorga flexibilidad, favorece el aprendizaje autónomo y resulta especialmente adecuado cuando existen limitaciones de conectividad o los participantes disponen de horarios diversos [10].

Ambas modalidades no son excluyentes y suelen combinarse; sin embargo, la presente propuesta se concentra en la gestión de actividades asincrónicas, dado que responde mejor a las condiciones

de conectividad de la institución y al modelo pedagógico de trabajo con plazos abiertos previsto para las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz. En este marco, el EVA constituye la base tecnológica para implementar una plataforma que permita gestionar de forma organizada las actividades académicas asincrónicas en la UECIB San Francisco de Asís, mediante Moodle desplegado sobre infraestructura Cloud Computing, respetando las particularidades del modelo educativo intercultural bilingüe.

3.2 Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB)

El Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) es el documento rector que establece los fundamentos filosóficos, pedagógicos, lingüísticos y curriculares del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (SEIB) del Ecuador. Aprobado mediante Acuerdo Ministerial N.º 0440-13, fue elaborado con la participación de las nacionalidades y pueblos indígenas con el propósito de ejercer plenamente su derecho a una educación con pertinencia cultural y lingüística, dentro del marco del Estado constitucional de derechos establecido en la Constitución de 2008 [11].

En el ámbito filosófico, el modelo se sustenta en el principio del *Sumak Kawsay* (Buen Vivir), concepción andino-amazónica que promueve la armonía entre las personas y con la naturaleza, la reciprocidad comunitaria y la valoración del conocimiento ancestral como fuente legítima de aprendizaje [12]. Estos principios diferencian al MOSEIB de los modelos educativos convencionales, al situar a la persona, la familia y la comunidad como actores protagónicos del proceso formativo y al reconocer la formación como un proceso continuo que se extiende a lo largo de toda la vida [12].

Desde el punto de vista pedagógico, el MOSEIB se estructura en torno a tres pilares fundamentales: la *lengua*, la *cultura* y la *interculturalidad*. El primero establece que la lengua de la nacionalidad constituye el principal vehículo de instrucción, mientras que el castellano cumple la función de lengua de relación intercultural [13]. El segundo reconoce los saberes ancestrales, la cosmovisión, los calendarios vivenciales comunitarios y los sistemas de valores propios como contenidos curriculares válidos y articulados con los del currículo nacional. El tercero propone el diálogo de saberes entre el conocimiento indígena y el conocimiento científico universal como estrategia para la construcción de aprendizajes significativos y contextualmente pertinentes. En esta línea, Reyes-Martínez *et al.* [14] sostienen que las instituciones que aplican el MOSEIB con mayor fidelidad son las que logran integrar estos tres pilares de manera coherente en la planificación curricular comunitaria, superando la simple traducción de contenidos del currículo nacional al idioma indígena.

3.2.1 Fases pedagógicas del sistema de conocimientos del MOSEIB

La metodología del MOSEIB organiza el proceso de enseñanza y aprendizaje mediante el denominado *sistema de conocimientos*, que se resume en cuatro fases progresivas y complementarias: dominio, aplicación, creación y socialización del conocimiento [13], [14]. Estas fases, ilustradas en la Figura 3.1, constituyen la referencia pedagógica que, en la presente propuesta, orienta la organización de los cursos y actividades dentro de la plataforma Moodle.

La fase de dominio del conocimiento corresponde a los procesos de reconocimiento y conocimiento, e incluye subfases como la sensopercepción, la problematización, el desarrollo de contenidos, la verificación y la conclusión; en ella el estudiante activa sus conocimientos previos y utiliza sus sentidos para observar, describir y comparar la realidad [14]. La fase de aplicación del conocimiento busca que el estudiante utilice lo aprendido en situaciones concretas mediante técnicas de evocación y ejercitación. La fase de creación del conocimiento fomenta el pensamiento creativo y la generación de propuestas propias a partir de lo aprendido. Finalmente, la fase de socialización del conocimiento valida y valora los aprendizajes mediante procesos de retroalimentación, tales como exposiciones, ferias, encuentros culturales y presentaciones públicas ante la comunidad educativa [14].

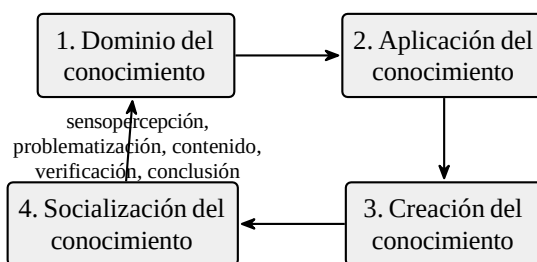


Figura 3.1. Fases pedagógicas del sistema de conocimientos del MOSEIB.

Fuente: elaboración propia a partir de [13], [14].

3.2.2 Educación Intercultural Bilingüe

La Educación Intercultural Bilingüe (EIB) constituye un modelo pedagógico orientado a garantizar el derecho de los pueblos indígenas a recibir instrucción en su lengua materna y desde su propia cosmovisión cultural, de manera simultánea con el aprendizaje del idioma oficial del Estado. En el caso del Ecuador, este modelo adquiere sustento constitucional a partir del artículo 57 de la Constitución de la República [11], que reconoce el derecho colectivo de las comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas a mantener, desarrollar y fortalecer libremente su identidad, sus tradiciones ancestrales y sus formas de organización social, incluyendo un sistema de educación con pertinencia cultural y lingüística. La institucionalización del SEIB data de 1988, con la creación de la Dirección Nacional de Educación Intercultural Bilingüe (DINEIB), hito que marcó la transición de iniciativas comunitarias aisladas hacia una política pública de alcance nacional [15].

No obstante los avances normativos, la investigación académica evidencia que la implementación efectiva de la EIB enfrenta persistentes tensiones estructurales. Vernimmen Aguirre [15] señala que, si bien durante el período 2007–2017 se impulsaron políticas de reconocimiento hacia las nacionalidades del Ecuador (siendo el kichwa y el shuar las lenguas más extendidas), en la práctica predominó un enfoque más multicultural que intercultural, dado que las medidas no lograron transformar las relaciones de poder subyacentes en el sistema educativo. Esta brecha entre el discurso normativo y la realidad institucional es reconocida también por Rizzo, Moreno y Mendoza [16], quienes, en su análisis sociohistórico de la institucionalización de la EIB en Ecuador, documentan que factores como la rotación de docentes, la escasez de materiales curriculares en lengua vernácula y la centralización administrativa han limitado el alcance real del modelo.

3.3 Moodle

Un Sistema de Gestión del Aprendizaje (*Learning Management System*, LMS) es una plataforma informática diseñada para administrar, organizar y controlar los procesos de enseñanza y aprendizaje en entornos virtuales, proporcionando un espacio donde docentes y estudiantes acceden a recursos educativos, desarrollan actividades, realizan evaluaciones y mantienen una comunicación permanente desde un único entorno digital [17]. Los LMS incorporan herramientas para la creación y administración de cursos, la asignación de tareas, el seguimiento del progreso de los estudiantes y la generación de reportes de desempeño académico [18]. En el ámbito educativo, la selección de un LMS debe considerar aspectos como la facilidad de uso, la flexibilidad para adaptarse a distintos modelos pedagógicos, la escalabilidad, la seguridad de la información y la compatibilidad con diferentes dispositivos [19].

Moodle (*Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment*) es un LMS de código abierto ampliamente utilizado por instituciones educativas para la administración de cursos virtuales y el apoyo a los procesos de enseñanza y aprendizaje. Su arquitectura modular permite adaptar la plataforma a diferentes contextos educativos mediante la incorporación de recursos, actividades y complementos que facilitan la gestión académica. Al tratarse de software libre, Moodle puede ser implementado, configurado y personalizado de acuerdo con las necesidades de cada institución, lo que ha favorecido su adopción en organizaciones educativas de distintos niveles alrededor del mundo [20].

Entre sus principales funcionalidades se encuentran la administración de usuarios y cursos, la publicación de recursos educativos digitales, la gestión de tareas, cuestionarios, foros de discusión, talleres, videoconferencias e informes de seguimiento del aprendizaje. Además, incorpora mecanismos de autenticación, asignación de roles y control de permisos que permiten administrar de forma segura la información de docentes y estudiantes [21]. Uno de sus aspectos más relevantes es su orientación hacia el aprendizaje colaborativo y constructivista, junto con

una interfaz adaptable a dispositivos móviles y la compatibilidad con estándares internacionales para la integración de recursos educativos digitales [22].

En el desarrollo de la presente propuesta tecnológica, Moodle constituye la plataforma seleccionada para implementar el Entorno Virtual de Aprendizaje de la UECIB San Francisco de Asís. Su elección responde a factores como su licencia de código abierto, la facilidad de administración, la amplia documentación técnica, la compatibilidad con infraestructura Cloud Computing y la posibilidad de organizar los cursos conforme a las fases pedagógicas del MOSEIB.

3.3.1 Características de Moodle

Gracias a su estructura modular, Moodle permite integrar nuevas funcionalidades mediante complementos o *plugins*, lo que hace posible adaptarla a las necesidades específicas de cada institución educativa sin alterar el funcionamiento principal del sistema. Entre sus principales características se encuentran la posibilidad de administrar usuarios mediante distintos niveles de permisos, organizar contenidos por categorías y cursos, gestionar actividades de aprendizaje, realizar evaluaciones en línea y generar reportes sobre el progreso académico de los estudiantes. Además, dispone de mecanismos de autenticación, copias de seguridad, restauración de cursos y compatibilidad con estándares internacionales como SCORM y LTI [23].

Otra característica relevante es su accesibilidad desde distintos dispositivos con conexión a Internet, incluyendo computadoras, tabletas y teléfonos móviles, con una interfaz adaptable que favorece la navegación y el desarrollo de actividades asincrónicas. Asimismo, Moodle incorpora opciones de personalización que permiten modificar el idioma de la interfaz, la apariencia visual y la organización de los cursos de acuerdo con las necesidades institucionales, aspecto especialmente pertinente para configurar la interfaz bilingüe Kichwa-Español prevista en la propuesta [24].

3.3.2 Recursos de Moodle

Los recursos disponibles en Moodle permiten a los docentes poner a disposición de los estudiantes información y materiales de apoyo que fortalecen el proceso de enseñanza-aprendizaje. Entre los más utilizados destaca el recurso Archivo, que permite compartir documentos como PDF, presentaciones o imágenes; el recurso Carpeta, que agrupa varios archivos relacionados en un mismo espacio; la Página, que presenta información directamente dentro de Moodle sin necesidad de descargas; el recurso URL, que enlaza sitios web, simuladores o repositorios digitales; y el recurso Libro, que organiza el contenido en capítulos y subcapítulos para elaborar materiales didácticos estructurados [25].

En la presente propuesta, estos recursos se utilizan para organizar los contenidos correspondientes a las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz: guías prácticas,

manuales técnicos, videos, enlaces a simuladores y documentación complementaria, facilitando el acceso permanente a la información y fortaleciendo el desarrollo de las actividades asincrónicas.

3.3.3 Actividades de Moodle

Las actividades de Moodle constituyen un conjunto de herramientas que fomentan la participación activa de los estudiantes dentro del entorno virtual. A diferencia de los recursos, cuyo propósito principal es proporcionar información, las actividades están orientadas a promover la interacción, la evaluación y el seguimiento continuo del aprendizaje [26]. Dentro de la presente propuesta, la actividad Tarea se utiliza para que los estudiantes envíen prácticas, informes técnicos y ejercicios; el Cuestionario permite aplicar evaluaciones objetivas con retroalimentación automática; el Foro favorece la comunicación y el intercambio de ideas; y la Consulta sirve para recopilar opiniones o realizar votaciones rápidas. La Tabla 3.1 resume esta correspondencia. La integración de estas actividades con las fases pedagógicas del MOSEIB permite que el entorno virtual no se limite a la publicación de contenidos, sino que se convierta en un espacio de participación y seguimiento del proceso formativo.

Tabla 3.1. Gestión de actividades asincrónicas.

Actividad de Moodle	Aplicación en la propuesta
Tarea	Entrega de prácticas e informes técnicos.
Cuestionario	Evaluación de conocimientos y retroalimentación automática.
Foro	Interacción y discusión académica.
Consulta	Recopilación de opiniones y toma de decisiones.

Fuente: elaboración propia a partir de la documentación oficial de Moodle [20].

3.3.4 Roles de usuario en Moodle

Moodle permite administrar el acceso a la plataforma mediante un sistema de roles y permisos, lo que facilita controlar las acciones que cada usuario puede realizar dentro del entorno virtual. Cada rol posee privilegios específicos definidos por el administrador, lo que garantiza una adecuada gestión de la información y contribuye a mantener la seguridad y organización de los cursos [27].

Para la implementación de la presente propuesta se definieron tres roles principales. El administrador se encarga de la configuración general del sistema, la administración de usuarios, la creación de cursos y el correcto funcionamiento de la plataforma. El docente dispone de las herramientas necesarias para organizar los contenidos de sus asignaturas, publicar recursos, diseñar actividades, evaluar el desempeño de los estudiantes y dar seguimiento a su progreso. Finalmente, el estudiante accede a los cursos en los que se encuentra matriculado, consulta los materiales, desarrolla las actividades propuestas y revisa de manera continua su avance.

3.4 Selección y justificación de la plataforma LMS

La elección de Moodle no se realizó *a priori*, sino a partir de la comparación de las principales plataformas LMS de código abierto disponibles, Moodle, Chamilo, Canvas LMS (edición de código abierto), Open edX y Sakai, frente a los criterios derivados del diagnóstico y del contexto del proyecto: licenciamiento sin costo, facilidad de administración por personal no especializado, soporte multilingüe con disponibilidad de paquete de idioma Kichwa, flexibilidad para estructurar los cursos conforme a las cuatro fases del MOSEIB, requerimientos de infraestructura compatibles con un único VPS, y madurez de la comunidad y la documentación. La Tabla 3.2 sintetiza la valoración cualitativa de cada alternativa frente a estos criterios.

Tabla 3.2. Matriz de comparación de plataformas LMS de código abierto frente a los criterios del proyecto.

Criterio	Moodle	Chamilo	Canvas (OSS)	Open edX	Sakai
Licencia de código abierto sin costo	Sí (GPL)	Sí (GPL)	Sí (AGPL)	Sí (AGPL)	Sí (ECL)
Facilidad de administración en un solo VPS con panel	Alta	Alta	Baja	Baja	Media
Soporte multilingüe de la interfaz	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio
Paquete de idioma Kichwa disponible	Sí (verificado en la implementación)	No verificado	No verificado	No verificado	No verificado
Flexibilidad para estructurar cursos por fases (MOSEIB)	Alta (secciones/temas)	Alta	Media	Media (orientado a MOOC)	Media
Requerimientos de infraestructura	Moderados (LAMP/LEMP)	Moderados	Altos (Ruby/servicios)	Altos (micro servicios)	Altos (Java)
Comunidad, documentación y plugins	Muy amplia	Media	Media	Media	En declive relativo
Experiencia previa documentada en EIB del Ecuador	Sí [4]	No identificada	No identificada	No identificada	No identificada

Fuente: elaboración propia a partir de la documentación oficial de cada plataforma.

Del análisis se concluye que Moodle es la alternativa que mejor satisface simultáneamente los criterios del proyecto: es la única de las plataformas comparadas con paquete de idioma Kichwa verificado durante la implementación (condición indispensable para la interfaz bilingüe), su estructura de cursos por secciones permite materializar directamente las cuatro fases del MOSEIB, sus requerimientos de infraestructura son compatibles con la pila LEMP de un único VPS administrado mediante panel, y cuenta con la comunidad y documentación más amplias del segmento, además de antecedentes de uso en unidades educativas interculturales bilingües del país [1], [4]. Canvas y Open edX, si bien robustos, exigen arquitecturas de despliegue considerablemente más complejas (servicios múltiples y mayores recursos) incompatibles con el criterio de administración autogestionada; Chamilo es una alternativa viable en administración,

pero sin paquete Kichwa verificado ni antecedentes documentados en el SEIB; y Sakai presenta una comunidad en retroceso relativo y una curva de administración mayor.

Con relación a los demás componentes de la pila, la selección se justifica en el capítulo de Métodos y Procedimientos junto a la tabla de la pila de software, donde se explicitan los criterios por capa y se señalan las afirmaciones técnicas que requieren fuente o medición propia.

3.5 Cloud Computing

La computación en la nube, o Cloud Computing, es un modelo tecnológico que permite acceder a diversos recursos informáticos, como servidores, almacenamiento, redes, bases de datos y aplicaciones, mediante una conexión a Internet, eliminando la necesidad de contar con infraestructura física propia. Este enfoque facilita el uso de servicios tecnológicos bajo demanda y contribuye a optimizar el aprovechamiento de la infraestructura disponible, reduciendo los costos de compra, administración y mantenimiento de equipos. La disponibilidad permanente, la alta escalabilidad y la facilidad para realizar copias de seguridad convierten a este modelo en una alternativa ampliamente utilizada por instituciones educativas que requieren garantizar la continuidad de sus servicios digitales [28].

En el ámbito educativo, la computación en la nube ha facilitado la implementación de plataformas virtuales de aprendizaje al proporcionar un entorno estable, seguro y accesible desde cualquier lugar con conexión a Internet. Gracias a estas características, las instituciones pueden alojar sistemas como Moodle sin depender de servidores locales, simplificando la administración de la plataforma y mejorando su disponibilidad para docentes y estudiantes.

3.5.1 Características del Cloud Computing

De acuerdo con el *National Institute of Standards and Technology* (NIST), el Cloud Computing presenta cinco características esenciales que lo diferencian de las arquitecturas tradicionales: autoservicio bajo demanda, acceso amplio a la red, agrupación de recursos, rápida elasticidad y servicio medible [29]. El autoservicio bajo demanda permite aprovisionar recursos sin intervención directa del proveedor; el acceso amplio a la red garantiza el uso desde distintos dispositivos; y la agrupación de recursos posibilita compartir la infraestructura entre múltiples usuarios de forma segura y eficiente [29]. Por su parte, la rápida elasticidad permite incrementar o reducir la capacidad según las necesidades, y el servicio medible posibilita monitorear el consumo, facilitando el control de costos.

3.5.2 Modelos de servicio del Cloud Computing

Los servicios de Cloud Computing se clasifican en tres modelos principales: Infraestructura como Servicio (IaaS), Plataforma como Servicio (PaaS) y Software como Servicio (SaaS), con

diferentes niveles de administración y control sobre los recursos tecnológicos [29]. El modelo IaaS proporciona recursos de infraestructura virtualizados sobre los cuales el usuario instala y administra el sistema operativo y las aplicaciones; en PaaS el proveedor ofrece un entorno de desarrollo completo; y en SaaS entrega aplicaciones listas para usarse a través de Internet [30]. La Tabla 3.3 compara los tres modelos. Considerando las características de la presente propuesta, el modelo IaaS representa la alternativa más adecuada, ya que ofrece la flexibilidad necesaria para instalar, configurar y administrar Moodle según los requerimientos de la institución.

Tabla 3.3. Comparación de los modelos de servicio del Cloud Computing.

Modelo	Descripción	Nivel de control del usuario	Aplicación en la propuesta
IaaS	Proporciona infraestructura virtual: servidores, almacenamiento y redes.	Alto. El usuario administra el sistema operativo y las aplicaciones.	Modelo seleccionado para alojar Moodle.
PaaS	Proporciona una plataforma para desarrollar y desplegar aplicaciones.	Medio. El proveedor administra la infraestructura.	No se requiere desarrollar una aplicación propia.
SaaS	Ofrece aplicaciones listas para utilizar mediante Internet.	Bajo. El proveedor administra todo el servicio.	No permite la flexibilidad necesaria para administrar Moodle.

Fuente: adaptado de [29], [30].

3.5.3 Infraestructura como Servicio (IaaS)

La Infraestructura como Servicio (IaaS) se caracteriza por proporcionar recursos informáticos virtualizados, servidores, almacenamiento, redes y máquinas virtuales, a través de Internet. En este modelo, el proveedor es responsable del mantenimiento de la infraestructura física, mientras que el usuario administra el sistema operativo, las aplicaciones, las bases de datos y demás componentes [29]. Sus principales ventajas son la flexibilidad para configurar el entorno según los requerimientos de cada organización, optimizando costos y evitando inversiones iniciales elevadas, aspecto especialmente importante para instituciones educativas con recursos limitados [30], y la disponibilidad y continuidad del servicio, al alojarse en centros de datos especializados con mecanismos de respaldo, monitoreo y recuperación ante fallos.

En la presente propuesta, el modelo IaaS se concreta mediante la contratación de un Servidor Privado Virtual (VPS) con virtualización dedicada de tipo KVM en el proveedor Hostinger, sobre el cual se instala y administra la totalidad de la pila de software del entorno virtual. El detalle técnico de la infraestructura se desarrolla en el capítulo de Métodos y Procedimientos (sección 4.9).

3.5.4 Aplicación del Cloud Computing en la propuesta

El Cloud Computing no interviene en este trabajo como un componente accesorio, sino como la capa que sostiene la totalidad de los servicios digitales de la institución. Sobre el VPS contratado, y bajo administración directa del proyecto, operan los siguientes elementos:

- El campus virtual Moodle, con su código fuente, su base de datos MySQL exclusiva y su directorio de datos moodledata, ubicado fuera de la ruta web pública.
- El portal web institucional, desarrollado a medida en HTML, CSS y JavaScript, con procesamiento de formularios en PHP y su propia base de datos.
- Los servicios de la pila de software que dan soporte a ambos sitios: el servidor web Nginx, el motor de base de datos MySQL, el intérprete PHP con su gestor de procesos y el almacén de caché Redis.
- Los certificados de transporte cifrado y las tareas programadas de respaldo, gestionados desde el panel de administración del servidor.

La relación entre el Cloud Computing y Moodle es, por tanto, de alojamiento y administración: el modelo IaaS aporta el servidor virtualizado, el almacenamiento y la conectividad, mientras que Moodle constituye la aplicación educativa que se instala sobre esa base. Entre ambos se sitúa una tercera capa, la de administración, cuya elección se justifica en la sección 4.9.3 y que determina la ruta de construcción documentada en la sección 4.9.4. Esta separación es la que permite conservar el control sobre la plataforma, condición sin la cual no habría sido posible instalar el paquete de idioma propio ni estructurar los cursos conforme a las fases del MOSEIB, limitación que caracteriza a las alternativas de software como servicio y que se contrasta en el análisis de costo-beneficio.

En cuanto a la disponibilidad, el alojamiento en un centro de datos externo sitúa el servicio fuera del alcance de las contingencias eléctricas locales verificadas en el diagnóstico, que afectan a la institución precisamente en la franja vespertina en que los estudiantes realizan sus actividades asincrónicas. El servidor permanece accesible de forma continua, con alimentación eléctrica redundante y sin requerir intervención técnica presencial, y su recuperabilidad se apoya en el respaldo automatizado diario y en el *snapshot* semanal que el proveedor ejecuta sobre la totalidad del servidor.

En cuanto al acceso, la infraestructura permite que docentes y estudiantes ingresen a la plataforma desde cualquier dispositivo con conexión a internet, mediante el dominio institucional y con transporte cifrado, sin depender de la red interna de la unidad educativa. Esta condición resulta determinante en el contexto del proyecto, en el que el teléfono inteligente es el dispositivo de acceso predominante entre los estudiantes.

3.5.5 Justificación de la adopción del Cloud Computing

La adopción de la nube respondió a condiciones materiales verificadas durante el diagnóstico y no a una preferencia tecnológica. La institución no dispone de servidores propios, ni de un recinto acondicionado, ni de personal técnico permanente, de modo que un despliegue local habría

exigido una inversión inicial y un costo de operación superiores a su capacidad presupuestaria. A ello se suma la intermitencia del suministro eléctrico en jornada vespertina, que dejaría inoperante a un servidor institucional en el horario de mayor demanda del modelo asincrónico. Frente a esas restricciones, el modelo IaaS ofrece tres ventajas pertinentes para el proyecto: elimina la inversión inicial en equipamiento, traslada la continuidad eléctrica y el mantenimiento físico al proveedor, y conserva en la institución el control del sistema operativo y de las aplicaciones. La escalabilidad vertical del modelo actúa además como salvaguarda ante el crecimiento de la matrícula, pues permite ampliar los recursos del servidor sin migración ni reinstalación de la plataforma. El desarrollo completo de esta justificación, con la comparación por franja horaria y la estructura de costos de ambas alternativas, se presenta en la sección 4.9.

3.5.6 Modelos de despliegue de la nube

Además de los modelos de servicio (IaaS, PaaS, SaaS), el NIST distingue cuatro modelos de despliegue de la nube según quién administra y quién utiliza la infraestructura: nube pública, en la que los recursos son propiedad de un proveedor externo y se comparten mediante Internet entre múltiples organizaciones (*multi-tenant*); nube privada, aprovisionada para el uso exclusivo de una única organización, ya sea en sus propias instalaciones o gestionada por un tercero; nube comunitaria, compartida por varias organizaciones con requerimientos comunes (por ejemplo, un consorcio de instituciones educativas); y nube híbrida, que combina dos o más de los modelos anteriores mediante mecanismos de portabilidad de datos y aplicaciones [29]. La Tabla 3.4 compara estos cuatro modelos frente al contexto del proyecto.

De los cuatro modelos, la nube pública es la única que resulta consistente con las restricciones materiales verificadas durante el diagnóstico (ausencia de infraestructura propia, de personal técnico permanente y de continuidad eléctrica), motivo por el cual se adopta como modelo de despliegue del proyecto, en combinación con el modelo de servicio IaaS descrito en la sección 3.5.4.

3.5.7 Criterios técnicos de selección del proveedor de infraestructura Cloud

Contratar un proveedor de nube pública no equivale a arrendar un servidor genérico e instalar Moodle sobre él: la literatura de arquitectura Cloud identifica un conjunto de criterios técnicos que condicionan el desempeño, la seguridad, el costo y la sostenibilidad de la solución, y que deben evaluarse de manera explícita antes de seleccionar un proveedor [29], [30]. Para este proyecto se definieron ocho criterios de selección, derivados del marco teórico y de los requerimientos no funcionales del sistema (Tabla 4.5): (1) tipo de virtualización (KVM, dedicada, frente a OpenVZ o contenedores compartidos, que restringen la personalización del kernel y de ciertos servicios); (2) relación costo-recursos (vCPU, RAM y almacenamiento por dólar invertido); (3) latencia estimada hacia Ecuador, determinada por la ubicación del centro de datos; (4) facilidad

Tabla 3.4. Comparación de los modelos de despliegue de la nube frente al contexto del proyecto.

Modelo	Descripción	Pertinencia para el proyecto
Nube pública	Infraestructura compartida entre múltiples clientes, administrada por un proveedor comercial externo.	Modelo adoptado: es el único compatible con un presupuesto institucional sin capacidad de inversión en infraestructura dedicada.
Nube privada	Infraestructura de uso exclusivo, propia o gestionada por un tercero, con mayor costo y control.	Descartada: exige una inversión que excede la capacidad presupuestaria de la institución (sección 4.9).
Nube comunitaria	Infraestructura compartida entre organizaciones con necesidades comunes (por ejemplo, un circuito de unidades educativas del SEIB).	No disponible actualmente: no existe, a la fecha del proyecto, un consorcio de infraestructura compartida entre instituciones del SEIB en la zona. Se plantea como línea de trabajo futuro en las recomendaciones.
Nube híbrida	Combinación de nube pública y componentes locales, con portabilidad de datos entre ambos.	Prospectiva: solo sería pertinente si la institución resuelve las limitaciones eléctricas locales identificadas en el diagnóstico; se analiza como escenario de evolución en las recomendaciones.

Fuente: adaptado de [29].

de administración mediante panel de control gráfico, relevante para un modelo de autogestión sin personal especializado permanente; (5) mecanismos de respaldo y recuperación (*snapshots*, copias automatizadas); (6) escalabilidad vertical sin migración; (7) nivel de soporte técnico y documentación disponible en español; y (8) transparencia y estabilidad del modelo de precios, dado el presupuesto institucional acotado.

La Tabla 3.5 aplica estos ocho criterios a cinco proveedores de infraestructura IaaS representativos del mercado, contratado (Hostinger) y de referencia (DigitalOcean, Vultr, Amazon Lightsail y Google Cloud Platform), a partir de la documentación pública de cada proveedor. Los valores de costo son referenciales, corresponden a la configuración más próxima a las especificaciones contratadas (2 vCPU, 4 a 8 GB de RAM) y están sujetos a cambio; se declaran únicamente con fines comparativos y no como cotización vigente.

La comparación evidencia que, si bien varios proveedores ofrecen especificaciones de cómputo similares, la decisión de arquitectura no puede basarse únicamente en el precio del cómputo bruto. Hostinger resultó la alternativa que mejor equilibra el conjunto de criterios para el perfil concreto de esta institución: virtualización KVM dedicada en igualdad de condiciones con las alternativas de mayor reconocimiento internacional, el costo mensual más bajo del conjunto comparado dentro del plazo contratado, un panel de control gráfico preinstalable (aaPanel) que reduce la curva de administración a un nivel compatible con un único responsable técnico sin formación especializada en administración de servidores Linux por línea de comandos, respaldo

Tabla 3.5. Comparación técnica de proveedores de infraestructura Cloud (IaaS) frente a los criterios del proyecto.

Criterio	Hostinger (adoptado)	DigitalOcean	Vultr	AWS Lightsail	Google Cloud
Virtualización	KVM dedicada	KVM dedicada	KVM dedicada	Virtualización propia (Nitro)	KVM dedicada
Costo aprox. config. equivalente (2 vCPU / 4–8 GB)	~9–18 USD/mes (según plazo)	~24 USD/mes	~24 USD/mes	~20 USD/mes	~25–30 USD/mes
Centro de datos más cercano a Ecuador	Boston, EE. UU. (~105 ms)	Nueva York / São Paulo	Miami / São Paulo	Norteamérica / São Paulo	Sudamérica (São Paulo)
Panel de control gráfico incluido	Sí (aaPanel preinstalable)	No (requiere instalación propia)	No (requiere instalación propia)	Panel simplificado propio	No (requiere instalación propia)
Respaldo automatizado incluido	Snapshot semanal (plan contratado)	Adicional (20–30 % del costo del plan)	Adicional	Incluido en planes superiores	Adicional
Escalabilidad vertical sin migración	Sí	Sí	Sí	Limitada (planes fijos)	Sí
Curva de administración para personal no especializado	Baja (panel gráfico)	Media-alta (línea de comandos)	Media-alta (línea de comandos)	Media (consola simplificada)	Alta (consola avanzada)
Documentación y soporte en español	Amplia	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial

Fuente: elaboración propia a partir de la documentación pública de cada proveedor [31]–[35].

automatizado incluido en el plan sin costo adicional, y documentación y soporte en español, criterio no menor dado el perfil lingüístico del equipo de trabajo del proyecto. Proveedores como AWS Lightsail o Google Cloud Platform ofrecen mayor robustez y un ecosistema de servicios más amplio (bases de datos gestionadas, balanceadores de carga, redes privadas virtuales), pero exigen una curva de aprendizaje y una administración por consola o línea de comandos que resultarían incompatibles con el criterio de sostenibilidad operativa por personal no especializado, identificado como restricción crítica desde el diagnóstico (riesgo R5, sección 4.17); estas alternativas quedan planteadas como evolución posible únicamente si la institución llega a contar con personal técnico especializado, escenario que se retoma en las recomendaciones.

En síntesis, la infraestructura Cloud de este proyecto no se limita a la contratación de un servidor virtual genérico: responde a un proceso de diseño con criterios técnicos explícitos (virtualización, costo, latencia, administrabilidad, respaldo, escalabilidad, soporte y estabilidad de precios), documentado y verificable, cuya aplicación se detalla en la sección 4.9 y cuyos resultados se contrastan con evidencia real en la sección 5.3.6.

3.6 Usabilidad

La usabilidad es la variable central de evaluación de este trabajo, por lo que requiere fundamento teórico propio. La norma ISO 9241-11 define la usabilidad como el grado en que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar metas concretas con efectividad, eficiencia y satisfacción, dentro de un contexto de uso determinado [36]. La efectividad alude a la exactitud y completitud con que los usuarios logran sus objetivos; la eficiencia, a los recursos empleados para lograrlos; y la satisfacción, a la ausencia de incomodidad y a la actitud positiva hacia el uso del sistema. La definición subraya que la usabilidad no es una propiedad absoluta del software, sino relativa a usuarios, tareas y contexto, consideración especialmente pertinente en un entorno intercultural bilingüe.

Los métodos de evaluación de usabilidad se agrupan habitualmente en métodos de inspección por expertos (evaluación heurística, recorridos cognitivos), pruebas de usuario con observación y medición de desempeño, y cuestionarios estandarizados de percepción. Dentro de esta última familia, la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS), propuesta por Brooke [37], es uno de los instrumentos más utilizados por su brevedad (diez ítems), su independencia de la tecnología evaluada y su amplia validación. El SUS produce una puntuación adimensional de 0 a 100, que no debe interpretarse como porcentaje, cuya lectura se realiza contra umbrales de referencia empíricos: Bangor, Kortum y Miller [38] establecieron, a partir de miles de aplicaciones, que la media general se sitúa en torno a 68 puntos y que valores superiores a 80,3 corresponden al rango de aceptabilidad “excelente” (grado A). Para el caso específico de los sistemas de gestión del aprendizaje, Orfanou, Tselios y Katsanos [5] validaron el uso del SUS en plataformas LMS (incluida Moodle), reportando una media de 76,5 puntos en sus estudios, valor que sirve de referente de comparación para los resultados del presente trabajo.

3.7 Localización e internacionalización de software

La internacionalización (i18n) es el diseño de un producto de software de modo que pueda adaptarse a distintos idiomas y regiones sin cambios de ingeniería, mientras que la localización (l10n) es la adaptación efectiva del producto a un idioma y contexto cultural concretos, que abarca la traducción de cadenas de la interfaz, los formatos de fecha y número, y las convenciones culturales de presentación. En los LMS, la localización se materializa mediante paquetes de idioma: Moodle dispone de una arquitectura multilingüe que permite instalar múltiples paquetes, ofrecer al usuario un selector de idioma y mantener la interfaz en el idioma elegido [23].

3.7.1 El Kichwa en entornos digitales y el paquete de idioma de Moodle

El kichwa es una de las lenguas indígenas más extendidas del Ecuador [15]; no obstante, su presencia en interfaces de software, teclados, contenidos digitales y plataformas educativas es

aún limitada, lo que constituye una dimensión tecnológica de la brecha que afecta a la Educación Intercultural Bilingüe: la escasez de materiales y entornos digitales en lengua vernácula que la literatura reconoce como factor limitante de la EIB [16] se extiende también al plano de las interfaces. En este marco, la existencia de un paquete de idioma Kichwa para Moodle, instalado y verificado en la presente implementación, representa una oportunidad concreta de pertinencia lingüística, alineada con el pilar de la lengua del MOSEIB [13].

Dado que los paquetes de idioma comunitarios suelen presentar cobertura parcial de traducción, el porcentaje de cadenas traducidas del paquete Kichwa y el tratamiento de las cadenas no traducidas (que Moodle resuelve mediante el idioma padre configurado) son datos técnicos relevantes para valorar el alcance real de la interfaz bilingüe. En el caso de esta propuesta, la localización al Kichwa no consistió en instalar un paquete comunitario preexistente (inexistente para la variante requerida), sino en construir un paquete propio para la variante Kichwa amazónico (Napo/Pastaza), identificada con el código ISO 639-3 qvo. La decisión de alcance fue deliberada: en lugar de intentar traducir la totalidad de Moodle (del orden de 30 000 cadenas), se priorizaron las cadenas núcleo de mayor frecuencia de uso pedagógico real (archivo moodle.php, con extensión prevista a assign.php, quiz.php, forum.php y grades.php). El paquete resultante, en su versión 0.1, contiene 73 cadenas núcleo, de las cuales 44 (60,3 %) cuentan con traducción propuesta y 29 (39,7 %) se conservan en español por no haberse localizado un equivalente verificable en las fuentes lexicográficas consultadas. Como idioma padre se configuró el español (parentlanguage = es), de modo que toda cadena no traducida se resuelve automáticamente en español sin degradar la experiencia de uso.

Las traducciones se contrastaron contra fuentes con respaldo institucional (*Yachakukkunapa Shimiyuk Kamu* del MinEduc/DINEIB y vocabularios Castellano-Kichwa de referencia), y cada cadena quedó clasificada en un nivel de confianza declarado en el propio código: nivel A (traducción con fuente bibliográfica identificada), nivel B (hipótesis por derivación morfológica, pendiente de verificación lexicográfica puntual) y nivel C (sin equivalente verificado, conservada en español). Esta trazabilidad explícita permite distinguir lo verificado de lo pendiente. La validación con hablante nativo de la variante amazónica, prevista con un docente bilingüe de la propia institución o de la DIPEIB Orellana, constituye la etapa de cierre del proceso y se declara como pendiente en las limitaciones: mientras no se complete, las cadenas de nivel B deben interpretarse como propuestas de trabajo y no como equivalencias confirmadas.

Cabe destacar que la ausencia de un término kichwa estandarizado y publicado para buena parte del vocabulario técnico de un EVA (por ejemplo, insignia, certificado, carpeta o enlace) no constituye una carencia del proceso, sino un hallazgo metodológico en sí mismo: evidencia las brechas léxicas que enfrenta la localización de software educativo en lenguas indígenas con recursos digitales limitados.

3.7.2 Codificación lingüística normalizada: la norma ISO 639-3 y el código qvo

La identificación inequívoca de la variante lingüística localizada es un requisito de rigor en cualquier proyecto de localización de software y, en este trabajo, la condición que hace verificable y reproducible el paquete de idioma construido. La norma ISO 639-3 es el estándar internacional que asigna un código único de tres letras a cada lengua o variante lingüística documentada del mundo. A diferencia de ISO 639-1, que emplea dos letras y cubre únicamente las lenguas de mayor difusión (en, es), ISO 639-3 ofrece una granularidad suficiente para distinguir variantes dialectales dentro de una misma macrolengua, y es el estándar adoptado por los catálogos lingüísticos de referencia (*Ethnologue*, *Glottolog*), por los archivos digitales de patrimonio lingüístico y por los sistemas de información multilingües, entre ellos Moodle.

La variante hablada en el entorno de la UECIB San Francisco de Asís, la del Napo y Pastaza, en la Amazonía ecuatoriana, se encuentra registrada en ISO 639-3 bajo el código oficial qvo, cuya denominación normalizada en inglés es *Napo Lowland Quechua*, y que en este trabajo se designa como Kichwa amazónico por corresponder a la variante ecuatoriana de la Amazonía. Su macrolengua padre en la propia norma es qu (Quechua). La Tabla 3.6 sitúa el código qvo frente a las restantes variantes kichwa registradas para el Ecuador, lo que permite apreciar por qué se descartaron las alternativas.

Tabla 3.6. Códigos ISO 639-3 de las variantes kichwa registradas en el Ecuador.

Código	Denominación normalizada	Región geográfica
qvi	Imbabura Quechua	Sierra norte (Imbabura, Pichincha)
qud	Calderón Highland Quechua	Sierra central (Pichincha)
qxl	Salasaca Quechua	Sierra central (Tungurahua)
qug	Chimborazo Highland Quechua	Sierra central y sur
qvj	Loja Quechua	Sierra sur (Loja)
qvo	Napo Lowland Quechua	Amazonía ecuatoriana (Orellana, Napo, Pastaza)
qvz	Northern Pastaza Quechua	Amazonía ecuatoriana (Pastaza norte)
qup	Southern Pastaza Quechua	Amazonía ecuatoriana (Pastaza sur)

Fuente: elaboración propia a partir del registro ISO 639-3 y de los catálogos lingüísticos de referencia.

La adopción de qvo responde a tres razones de orden técnico y académico:

- **Precisión:** el código qu identifica el quechua como macrolengua, sin especificar la variante, lo que resultaría insuficiente para un trabajo cuyo aporte diferencial es precisamente la localización a una variante amazónica concreta y no al kichwa genérico.
- **Corrección del identificador:** el código kw, empleado ocasionalmente de manera informal como abreviatura de “kichwa”, corresponde en ISO 639-1 al *córnico*, lengua celta de Cornualles sin relación alguna con las lenguas quechuan; su uso etiquetaría erróneamente los registros de usuario en cualquier sistema de información que interprete el estándar y comprometería la validez de la identificación lingüística ante un tribunal académico.

- Interoperabilidad: al emplear un código público y registrado, el paquete resulta reutilizable por otras instituciones educativas de la Amazonía ecuatoriana que compartan la misma variante, sin conflictos de codificación.

En consecuencia, el proyecto adopta una distinción deliberada entre el identificador técnico y la denominación de cara al usuario: en los archivos técnicos se emplea el código normalizado (directorio moodledata/lang/qvo/, archivos langconfig.php y moodle.php); en la interfaz de usuario aparece la denominación amigable “Kichwa Amazónico”, que es la que reconoce la comunidad educativa; y en la documentación académica se cita la equivalencia completa (“código ISO 639-3 qvo, *Napo Lowland Quechua*”), verificable por cualquier lector en los registros públicos del estándar. La Tabla 3.7 resume esta correspondencia.

Tabla 3.7. Ficha de referencia del código lingüístico adoptado en el proyecto.

Aspecto	Valor adoptado
Código técnico	qvo
Norma de referencia	ISO 639-3
Denominación normalizada (inglés)	<i>Napo Lowland Quechua</i>
Denominación en español	Kichwa amazónico
Región de la variante	Orellana, Napo y Pastaza (Ecuador)
Macrolengua ISO 639-3	qu (Quechua)
Idioma padre configurado en Moodle	es (Español)
Ruta técnica en la plataforma	moodledata/lang/qvo/
Etiqueta visible en el selector de idioma	“Kichwa Amazónico”

Fuente: elaboración propia.

3.8 Seguridad de la información y protección de datos en entornos educativos

La implementación de un entorno virtual de aprendizaje implica el tratamiento de información sensible (datos personales de estudiantes y docentes, registros académicos, calificaciones y comunicaciones), por lo que la seguridad de la información constituye un componente esencial de cualquier despliegue institucional. Tradicionalmente, la seguridad de la información se estructura en torno a tres propiedades fundamentales: la confidencialidad, que impide el acceso no autorizado a los datos; la integridad, que garantiza que la información no sea alterada de forma indebida; y la disponibilidad, que asegura el acceso continuo a los servicios por parte de los usuarios legítimos [39].

Desde el punto de vista técnico, existen medidas ampliamente recomendadas para proteger plataformas LMS como Moodle. El cifrado de las comunicaciones mediante certificados SSL/TLS protege los datos en tránsito entre el navegador y el servidor; el control de acceso basado en roles restringe las acciones de cada usuario según sus privilegios [27]; y las políticas de contraseñas robustas, junto con la autenticación de múltiples factores (MFA), reducen el riesgo de accesos indebidos. A ello se suman los respaldos periódicos y verificados, la actualización constante de la

plataforma, el uso de cortafuegos y el registro de *logs* de auditoría que permiten la trazabilidad de las acciones dentro del sistema [23]. La documentación oficial de Moodle recomienda, además, aislar el directorio de datos (*moodledata*) fuera de la ruta web pública y mantener versiones con soporte a largo plazo (LTS) [23].

En el plano jurídico ecuatoriano, el tratamiento de datos personales se encuentra regulado por la Constitución de la República y, de manera específica, por la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (LOPDP), publicada en el Registro Oficial Suplemento N.º 459 del 26 de mayo de 2021, y su Reglamento General, publicado en el Registro Oficial Suplemento N.º 435 del 13 de noviembre de 2023 [40], [41]. Esta normativa establece principios de obligatorio cumplimiento, entre ellos la minimización de datos, la seguridad desde el diseño y por defecto, la finalidad determinada del tratamiento y el derecho del titular a revocar su consentimiento [40].

Un aspecto central para este proyecto es que la población usuaria está conformada mayoritariamente por niñas, niños y adolescentes (NNA), cuyos datos reciben una protección reforzada. La LOPDP dispone que el tratamiento de datos de menores requiere, por regla general, el consentimiento de su representante legal, y que en toda circunstancia debe prevalecer el interés superior del menor [40], [41]. En consecuencia, la institución educativa, en su calidad de responsable del tratamiento, debe recabar el consentimiento informado de los representantes legales, limitar la recolección de datos a lo indispensable para la gestión académica, aplicar las medidas técnicas de seguridad antes descritas y prever mecanismos para el ejercicio de los derechos de acceso, rectificación, eliminación y revocatoria. Este marco teórico-legal fundamenta las medidas de seguridad que se detallan en el capítulo de Métodos y Procedimientos y que se verifican en el Análisis de Resultados, en coherencia con la propuesta institucional que dio origen al proyecto.

3.8.1 Marco legal educativo y de accesibilidad

El marco jurídico del proyecto se completa con dos instrumentos adicionales. En primer lugar, la Ley Orgánica de Educación Intercultural (LOEI) y su reglamento general constituyen la ley marco del sistema educativo al que pertenece la institución: la LOEI reconoce y regula el Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (SEIB) como parte del sistema nacional de educación, garantiza el derecho de las personas y comunidades a una educación en su propia lengua y desde su cosmovisión, y ampara la política pública, incluido el MOSEIB, expedido mediante el Acuerdo Ministerial N.º 0440-13, bajo la cual opera la UECIB San Francisco de Asís [42]. Toda intervención tecnológica en una institución del SEIB debe, por tanto, ser compatible con los principios de interculturalidad y plurilingüismo que la LOEI establece, condición que este proyecto materializa mediante la interfaz bilingüe y la estructura pedagógica alineada al MOSEIB.

En segundo lugar, en materia de accesibilidad web, el Ecuador adoptó como norma técnica la NTE INEN-ISO/IEC 40500, equivalente nacional de las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.0 del W3C, aplicable a los servicios web de entidades del sector público [43]. Aunque la verificación exhaustiva de conformidad con la norma excede el alcance de esta propuesta, sus principios, contenido perceptible, operable, comprensible y robusto, orientan decisiones de configuración adoptadas en la plataforma, como el uso de un tema gráfico adaptable a dispositivos móviles y una estructura de navegación simple, y se recogen como línea de trabajo futuro en las recomendaciones.

3.9 Estado del arte

Como cierre del marco teórico, esta sección sistematiza de manera comparativa los trabajos afines identificados en los antecedentes, con el propósito de precisar el vacío que la presente propuesta atiende. La Tabla 3.8 resume, para cada estudio, el contexto, la tecnología empleada, los principales resultados y la diferencia con este trabajo.

La comparación evidencia que la literatura respalda por separado los componentes de la propuesta (la eficacia de Moodle como LMS [1], [3], la pertinencia del Cloud Computing en instituciones interculturales bilingües del país [4] y la validez del SUS como instrumento de evaluación [5], [6]), pero ninguno de los trabajos identificados integra simultáneamente la implementación completa de un EVA sobre infraestructura IaaS, la estructuración pedagógica de los cursos conforme a las cuatro fases del MOSEIB y la interfaz bilingüe Kichwa-Español en una institución del SEIB. Ese es, precisamente, el vacío que la presente propuesta atiende y el aporte diferencial que la distingue de los antecedentes.

Tabla 3.8. Estado del arte: comparación de trabajos afines.

Autor(es) y año	Contexto	Tecnología	Resultados principales	Diferencia con esta propuesta
Gamage, Ayres y Behrend (2022) [1]	Revisión sistemática internacional sobre Moodle en educación	Moodle (LMS)	Amplia adopción institucional de Moodle para administración de contenidos, evaluación e interacción, con resultados positivos en los procesos formativos	Estudio secundario y de alcance general; no aborda contextos interculturales bilingües ni la alineación a un modelo pedagógico específico como el MOSEIB
Arreaga (2022) [3]	Institución educativa del Ecuador	Moodle	Influencia positiva del uso de Moodle en el proceso de enseñanza-aprendizaje, el acceso a recursos y la comunicación académica	No incorpora despliegue sobre Cloud Computing ni interfaz bilingüe; no se vincula al SEIB/MOSEIB
Moposita (2023) [4]	Unidad Educativa del Milenio Intercultural Bilingüe Chibuleo (Ecuador)	Moodle + respaldo en Cloud Computing	El sistema de respaldo en la nube mejoró la disponibilidad, la escalabilidad y la protección de la información de la plataforma institucional	Se centra en el componente de respaldo/seguridad de un Moodle existente; no implementa el EVA completo, ni la estructura por fases del MOSEIB, ni la interfaz Kichwa-Español
Orfanou, Tselios y Katsanos (2015) [5]	Evaluación de LMS en educación superior	SUS aplicado a Moodle y otros LMS	Validación del SUS como instrumento confiable para LMS, con una media reportada de 76,5 puntos	Estudio de evaluación de usabilidad, no de implementación; contexto universitario sin componente intercultural bilingüe
Suria <i>et al.</i> (2024) [6]	Implementación reciente de Moodle	Moodle	Niveles adecuados de satisfacción y aceptación cuando el diseño responde a las necesidades de los usuarios y del contexto	No contempla la alineación a un modelo de educación intercultural bilingüe ni la localización de la interfaz a una lengua originaria

Fuente: elaboración propia a partir de las referencias citadas.

4 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 Tipo y enfoque de la investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación aplicada de carácter tecnológico, desarrollada bajo la modalidad de Propuesta Tecnológica establecida en la normativa de titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi. La investigación aplicada se orienta a la resolución de problemas concretos mediante la utilización de conocimientos existentes; en este caso, el problema identificado, la ausencia de un entorno virtual que permita gestionar de manera organizada las actividades académicas asincrónicas en la UECIB San Francisco de Asís, se aborda mediante la implementación de una solución tecnológica basada en herramientas consolidadas (Moodle y Cloud Computing), adaptada a un contexto pedagógico y cultural específico (las fases del MOSEIB y la interfaz bilingüe Kichwa-Español).

La modalidad de Propuesta Tecnológica resulta pertinente porque el producto central del trabajo no es la generación de conocimiento teórico nuevo, sino el diseño, la implementación y la validación de un artefacto tecnológico funcional que responde a una necesidad institucional real y formalizada. El proyecto comprende la memoria técnica de la solución (arquitectura, dimensionamiento, configuración), su despliegue efectivo sobre infraestructura en la nube y la verificación de su funcionamiento y usabilidad, elementos que se corresponden con la estructura de informe exigida por el instructivo institucional.

El presente trabajo se sitúa en el paradigma pragmático, propio de la investigación orientada a la resolución de problemas: la elección de métodos y técnicas se subordina a la utilidad para responder la pregunta de investigación y validar el artefacto tecnológico, antes que a una adscripción epistemológica única. Bajo ese paradigma, el enfoque es predominantemente cuantitativo: los instrumentos centrales (encuesta diagnóstica y Escala SUS) producen datos numéricos analizados con estadística descriptiva, y las pruebas de funcionamiento verifican umbrales cuantitativos definidos a priori. Las técnicas complementarias de levantamiento, la observación mediante ficha estructurada y la revisión documental, son de registro estructurado y alimentan el diseño de la solución, pero no se acompañan de técnicas de análisis cualitativo (codificación, categorización o triangulación interpretativa), por lo que no se sostiene la etiqueta de enfoque “mixto” utilizada en versiones preliminares de este documento.

El diseño de la investigación es no experimental, de dos etapas secuenciales y alcance descriptivo-aplicativo: una primera etapa de diagnóstico (observación estructurada, encuesta diagnóstica y revisión documental) cuyos resultados informan el diseño e implementación del artefacto, y una segunda etapa de evaluación (pruebas de funcionamiento con umbrales a priori, Escala SUS y métricas de adopción) sobre la plataforma en uso real. No se manipulan variables ni se emplean grupos de control; la validación del artefacto se realiza contra criterios de verificación predefinidos y contra los umbrales de referencia de la literatura de usabilidad [5], [37], [38].

4.2 Metodología de implementación del EVA: modelo ADDIE

Además del diseño de investigación descrito en el apartado anterior, la construcción del artefacto tecnológico requería un marco metodológico propio de diseño instruccional, dado que el EVA no es únicamente una pieza de software, sino un producto pedagógico que debe organizar contenidos, actividades y evaluaciones conforme a un modelo de aprendizaje determinado. Por esta razón, el proyecto adopta el modelo ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) como metodología orientada específicamente a la implementación del EVA. ADDIE es uno de los modelos de diseño instruccional más utilizados en el desarrollo de soluciones de aprendizaje mediado por tecnología, por su estructura cíclica y su capacidad de retroalimentación entre fases, que permite ajustar el diseño pedagógico a partir de la evaluación de resultados [44], [45]. A diferencia de un modelo lineal cerrado, ADDIE admite iteraciones entre fases (por ejemplo, un hallazgo de la fase de Evaluación puede retroalimentar ajustes en el Diseño), característica que resulta coherente con el enfoque de mejora continua adoptado en las recomendaciones de este trabajo.

La adopción de ADDIE, además, no es ajena al modelo pedagógico institucional: el sistema de conocimientos del MOSEIB organiza el aprendizaje en fases secuenciales (dominio, aplicación, creación y socialización; sección 3.2.1) que, aunque responden a una lógica curricular distinta a la de un modelo de diseño instruccional, comparten con ADDIE el principio de progresión estructurada del aprendizaje. Esta afinidad se aprovechó de manera deliberada: las fases pedagógicas del MOSEIB se utilizaron como criterio de diseño de la estructura interna de cada curso (fase de Diseño de ADDIE), de modo que el estudiante que avanza a través de una fase del MOSEIB dentro de Moodle recorre, al mismo tiempo, una progresión pedagógica reconocible para los docentes de la institución.

4.2.1 Justificación de la elección de ADDIE frente a modelos alternativos

La adopción de un modelo de diseño instruccional no es una formalidad metodológica sustituible por cualquier otro marco de proceso: cada modelo impone un orden distinto de decisiones, exige artefactos distintos y tolera de manera distinta la incertidumbre inicial del proyecto. Por ello, antes de fijar ADDIE como marco de implementación se contrastaron cuatro alternativas de uso extendido en el desarrollo de soluciones formativas mediadas por tecnología, frente a tres condiciones no negociables de este proyecto: (i) la existencia de una única iteración de despliegue en producción, dado que la institución no podía sostener ciclos sucesivos de instalación y reinstalación sobre la plataforma que ya utilizaban docentes y estudiantes; (ii) la exigencia de trazabilidad documental exhaustiva, propia de un trabajo de titulación sometido a revisión de tribunal, que obliga a que cada decisión quede asociada a un artefacto verificable; y (iii) la necesidad de articular en un mismo proceso dos productos de naturaleza distinta, un diseño

pedagógico alineado al MOSEIB y una arquitectura técnica sobre infraestructura Cloud. La Tabla 4.1 sintetiza esa comparación.

Tabla 4.1. Comparación de modelos de diseño instruccional frente a las condiciones del proyecto.

Modelo	Lógica de proceso y artefactos que exige	Pertinencia para este proyecto
ADDIE [44], [45]	Cinco fases secuenciales con retroalimentación entre ellas; cada fase produce un entregable documentado que constituye la entrada de la siguiente.	Adoptado: la secuencia de entregables coincide con la exigencia de trazabilidad del informe, y la retroalimentación entre fases admite el carácter iterativo del despliegue sobre un nodo único.
Dick y Carey [46]	Modelo sistémico de nueve componentes centrado en el análisis de tareas de aprendizaje y en el diseño de la evaluación referida a criterio.	Descartado: su nivel de granularidad se orienta al diseño de la instrucción en sí y no al despliegue de la plataforma que la soporta, que es el objeto de esta propuesta tecnológica.
SAM (<i>Successive Approximation Model</i>) [47]	Ciclos cortos de prototipado y revisión con participación permanente del cliente; su artefacto central es el prototipo iterado, no la documentación de fase.	Descartado: presupone iteraciones sucesivas sobre versiones desechables, incompatibles con una única instalación en producción sobre la que ya operaba la comunidad educativa.
ASSURE	Modelo de planificación de la clase (analizar al estudiante, formular objetivos, seleccionar medios, utilizar medios, requerir participación, evaluar).	Descartado: su unidad de análisis es la sesión de clase y no el sistema institucional; no cubre el diseño de infraestructura ni las políticas de sostenibilidad.

Fuente: elaboración propia a partir de la literatura citada.

La conclusión del contraste es que ADDIE fue el único de los cuatro modelos capaz de contener simultáneamente los dos productos del proyecto sin subordinar uno al otro. Conviene, no obstante, declarar de forma explícita el límite de esa adopción, porque la crítica más frecuente al modelo es precisamente su rigidez secuencial: en este trabajo ADDIE no se aplicó como una cascada cerrada, sino en su formulación cíclica, en la que los hallazgos de la Evaluación retroalimentan el Diseño. Esa lectura es la que justifica que las recomendaciones del capítulo 6 no se presenten como un apéndice de cierre, sino como la entrada del siguiente ciclo del modelo.

4.2.2 Estructura cíclica del modelo y flujo de artefactos entre fases

El modelo se ejecutó conforme al esquema de la Figura 4.1, en el que cada fase transforma una entrada documentada en una salida verificable, y en el que la Evaluación no cierra el proceso sino que lo realimenta. Esta representación cumple una función metodológica precisa dentro del

informe: hace explícito que ninguna fase se inició sin el entregable de la anterior, condición que permite auditar el orden de las decisiones y no solo su resultado.

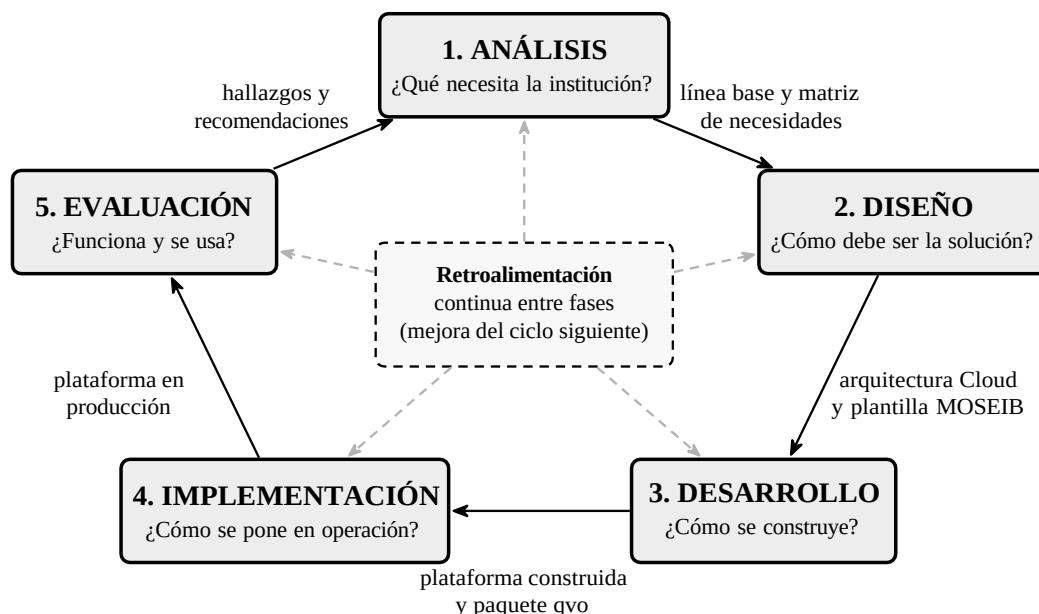


Figura 4.1. Ciclo del modelo ADDIE aplicado al proyecto.

Nota: sobre cada arista se indica el entregable que la fase transfiere a la siguiente; el núcleo central representa la retroalimentación que sostiene la mejora continua entre fases.

Fuente: elaboración propia a partir de [44], [45].

La lógica de entradas y salidas que ordena todo el capítulo se detalla en la Figura 4.2, que descompone cada fase en la terna entrada–proceso–salida y nombra el artefacto concreto producido. Su lectura permite verificar, de un vistazo, que no existe ninguna fase cuya salida no sea la entrada declarada de otra, ni ningún artefacto de este informe que carezca de fase de origen.

A continuación se describen las cinco fases del modelo aplicadas al proyecto. Cada apartado sigue una misma estructura, deliberadamente uniforme para facilitar la verificación por parte del tribunal: qué se hizo en la fase, qué artefactos e instrumentos se generaron o aplicaron, y qué salida quedó disponible para la fase siguiente. La Tabla 4.2 sintetiza, antes del detalle, la correspondencia de las fases con las etapas de ejecución del proyecto (Tabla 2.2), con los tres objetivos específicos y con las secciones del documento donde se desarrolla cada una.

4.2.3 Fase 1. Análisis

Descripción de la fase. El Análisis respondió a una pregunta previa a cualquier decisión técnica: qué necesita realmente esta institución y bajo qué restricciones materiales opera. La fase identificó las necesidades formativas, tecnológicas y culturales de la población objetivo, y definió los objetivos de aprendizaje considerando el perfil real de los estudiantes (predominio del acceso por teléfono inteligente, nivel de alfabetización digital heterogéneo, preferencia declarada por una interfaz bilingüe), para asegurar la pertinencia del contenido y de la propia plataforma frente al contexto de la UECIB San Francisco de Asís. Se ejecutó entre el 9 y el 15 de abril de 2026, con

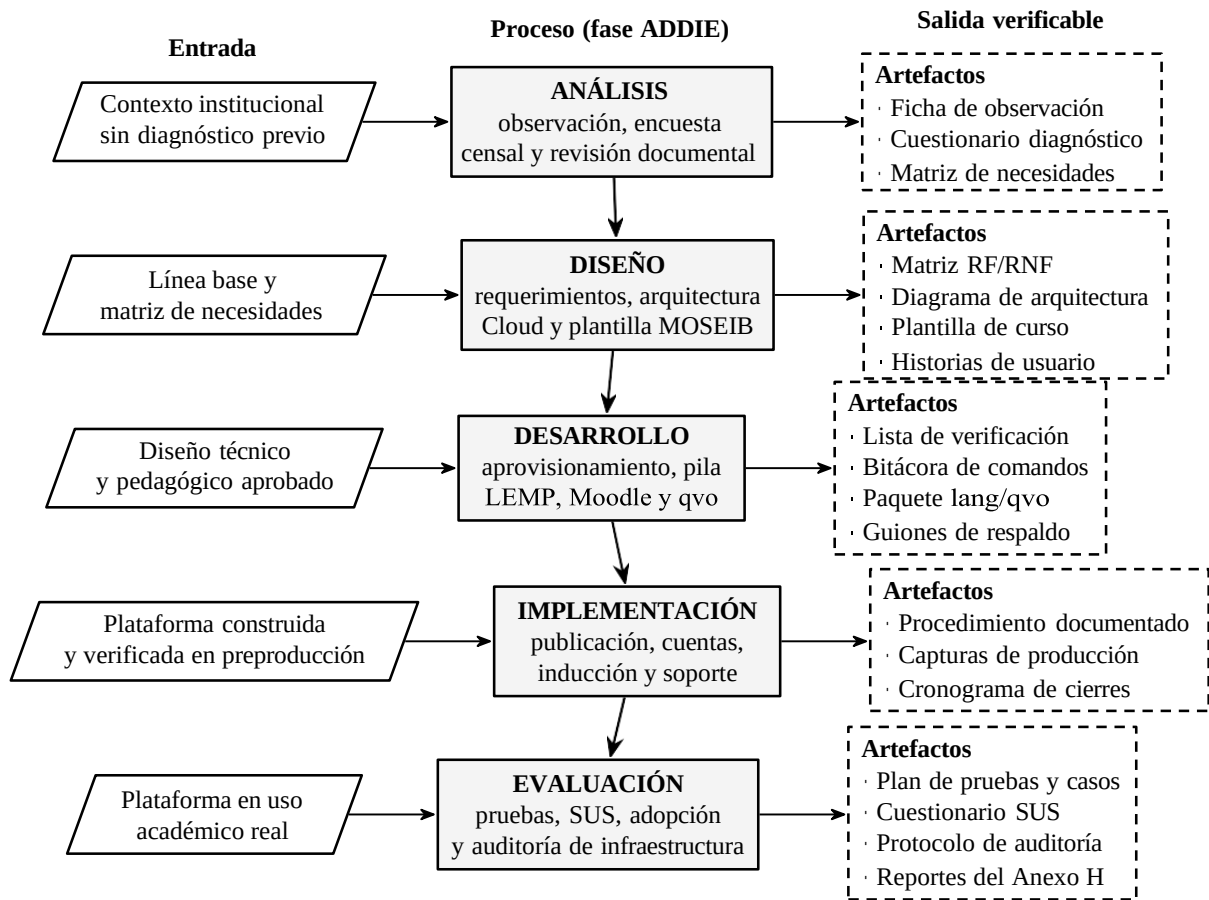


Figura 4.2. Flujo de entrada, proceso y salida de las cinco fases del modelo ADDIE, con el artefacto verificable producido en cada una.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2. Correspondencia entre las fases del modelo ADDIE, las etapas de ejecución del proyecto, los tres objetivos específicos y las secciones del documento.

Fase ADDIE	Etapas de ejecución del proyecto	Objetivo específico	Sección(es) principal(es)
Análisis	Diagnóstico y revisión bibliográfica	Objetivo 1: Analizar necesidades y revisión bibliográfica	4.2.3; 5.1, 3.9
Diseño	Diseño técnico y pedagógico	Objetivo 2: Diseñar la arquitectura Cloud y la estructura MOSEIB	4.2.4; 4.8, 3.5.7, 4.9
Desarrollo	Implementación y evaluación	Objetivo 3: Implementar y evaluar la plataforma	4.2.5; 4.9.4, 4.12, 4.11
Implementación			4.2.6; 5.2, 5.3.1–5.3.3
Evaluación			4.2.7; 5.4, 5.6.4, 5.7

Fuente: elaboración propia a partir de [44], [45].

una dedicación de 28 horas (Tabla 2.2), y comprendió tres levantamientos complementarios: la observación estructurada de la infraestructura y de las prácticas de gestión académica, la encuesta diagnóstica censal a los 38 integrantes de las dos figuras profesionales, y la revisión documental del MOSEIB, de la documentación oficial de Moodle y de la propuesta técnica presentada al

Rectorado. A ellos se sumó la revisión del estado del arte (sección 3.9), que delimitó el vacío de conocimiento que la propuesta aborda.

Artefactos e instrumentos generados. La fase produjo cuatro artefactos, todos verificables en el documento o en los anexos:

1. *Ficha de observación institucional* (instrumento), estructurada en cuatro dimensiones: equipamiento tecnológico, conectividad institucional, prácticas de gestión académica y servicios digitales existentes. Aplicada en tres visitas presenciales; sus resultados constan en la Tabla 5.1 y el instrumento en el Anexo A.
2. *Cuestionario diagnóstico* (instrumento), de elaboración propia, con cuatro secciones y escala de Likert de cinco niveles en su bloque de competencias digitales. Su ficha técnica es la Tabla 4.4, su tabulación las Tablas 5.2 y 5.3, y el instrumento aplicado se incorpora en el Anexo A.
3. *Matriz de análisis documental* (artefacto), que relaciona cada requerimiento identificado con el documento fuente del que se deriva (MOSEIB, documentación de Moodle o propuesta institucional).
4. *Matriz de necesidades* (artefacto de salida), que consolida los cuatro requerimientos derivados del análisis conjunto de las tres técnicas y que se enuncia al cierre de la sección 5.1.

Salida hacia la fase siguiente. La línea base cuantificada y la matriz de necesidades constituyeron la entrada directa de la fase de Diseño. Tres hallazgos de esta fase condicionaron de manera irreversible las decisiones posteriores y conviene dejarlos señalados aquí: el predominio del teléfono inteligente entre los estudiantes, que impuso el requerimiento de adaptabilidad móvil (RNF4); la preferencia por una interfaz bilingüe cercana a la unanimidad, que fundamentó la construcción del paquete de idioma propio; y la intermitencia del suministro eléctrico institucional en jornada vespertina, que descartó el despliegue local y obligó a la adopción del modelo Cloud.

4.2.4 Fase 2. Diseño

Descripción de la fase. A partir de las necesidades identificadas se establecieron los objetivos de aprendizaje por asignatura, se planificaron los contenidos y su secuencia dentro de cada curso, y se diseñaron las estrategias de evaluación (tareas, cuestionarios y foros) conforme a las cuatro fases pedagógicas del MOSEIB. En esta etapa se definió, además, la arquitectura técnica que sostendría dicho diseño pedagógico: la matriz de requerimientos funcionales y no funcionales (sección 4.8), el dimensionamiento de la infraestructura Cloud por carga de usuarios, los criterios técnicos de selección del proveedor (sección 3.5.7) y la ruta de despliegue adoptada (sección 4.9.4). La fase se ejecutó entre abril y mayo de 2026, con 32 horas de dedicación.

La decisión metodológica más relevante de esta fase fue no tratar el diseño pedagógico y el diseño técnico como procesos independientes. Cada requerimiento pedagógico se tradujo en una condición técnica verificable y viceversa: la estructura por fases del MOSEIB determinó la plantilla de secciones de curso; la preferencia bilingüe determinó la exigencia de control administrativo total sobre la instalación, que a su vez descartó las alternativas de software como servicio y fijó el modelo IaaS; y el perfil de acceso móvil determinó tanto la elección del tema gráfico adaptable como el límite de subida de archivos de la política de almacenamiento.

Artefactos e instrumentos generados. La fase produjo seis artefactos de diseño:

1. *Matriz de requerimientos funcionales y no funcionales* (Tabla 4.5): 8 RF y 8 RNF, cada uno con su fuente y con la sección donde se verifica su cumplimiento.
2. *Matriz de selección del LMS* (Tabla 3.2), que contrasta las plataformas de código abierto candidatas frente a los criterios del proyecto.
3. *Matriz de criterios y comparación de proveedores IaaS* (Tabla 3.5), con los ocho criterios técnicos de selección enunciados en la sección 3.5.7.
4. *Diagrama de arquitectura de despliegue* (Figura 4.6) y *diagrama de bloques de la ruta de despliegue* (Figura 4.4), que fijan la topología de la solución antes de su construcción.
5. *Plantilla de curso alineada al MOSEIB*: cuatro secciones, una por cada fase del sistema de conocimientos (dominio, aplicación, creación y socialización), con la asignación de recursos y actividades de Moodle a cada fase.
6. *Historias de usuario y backlog* (Tabla 4.25), que expresan los requerimientos desde la perspectiva de cada rol y permiten verificar su cumplimiento mediante casos de prueba trazables.

Salida hacia la fase siguiente. El diseño técnico y pedagógico aprobado, materializado en los seis artefactos anteriores, constituyó la especificación contra la cual se construyó la plataforma. Su valor metodológico es que permite distinguir, en el capítulo de resultados, entre lo que se obtuvo por decisión de diseño y lo que quedó heredado del asistente de instalación del panel, distinción que la sección 5.3.16 explota de forma sistemática.

4.2.5 Fase 3. Desarrollo

Descripción de la fase. El Desarrollo comprendió la construcción efectiva de los dos productos especificados en el Diseño. Por el lado pedagógico, la creación de los materiales educativos y recursos interactivos (páginas, archivos, cuestionarios y foros) para las asignaturas de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz, elaborados por el Coordinador de Bachillerato Técnico y validados

por el Rectorado. Por el lado técnico, la construcción de la infraestructura conforme a la ruta de despliegue de tres pasos definida en el Diseño: aprovisionamiento y endurecimiento de la máquina virtual con Ubuntu Server, instalación y configuración del panel de control aaPanel, y despliegue de Moodle sobre esa base (secciones 4.11 y 5.3). A ello se añadió la construcción del paquete de idioma Kichwa amazónico qvo mediante el proceso de seis etapas documentado en la sección 4.12.

Las pruebas piloto propias de esta fase correspondieron a las pruebas de humo realizadas sobre el entorno antes de la carga masiva de contenidos y de cuentas de usuario: verificación del arranque de los cinco servicios de la pila, emisión efectiva de los certificados, ejecución de la tarea programada de Moodle y comprobación del aislamiento del directorio de datos.

Artefactos e instrumentos generados. Esta fase es la que concentra la mayor producción de artefactos técnicos:

1. *Lista de verificación de despliegue* (artefacto), organizada por los tres pasos de la ruta Ubuntu → aaPanel → Moodle y reproducida como Tabla 4.14.
2. *Bitácora de comandos y configuraciones* (artefacto), que registra para cada operación el comando o la acción del panel, su descripción y su criterio de verificación (Tablas 4.16 a 4.22).
3. *Archivos de configuración versionados* (artefacto): bloque del servidor web del campus virtual, fragmento de config.php de Moodle y parámetros del gestor de procesos, reproducidos como fragmentos de código en la sección 4.11.
4. *Paquete de idioma lang/qvo* (producto), con 73 cadenas núcleo y su registro de nivel de confianza por cadena (Tablas 4.23 y 4.24).
5. *Guiones de respaldo y tareas programadas* (artefacto), configurados desde el panel y verificados en la sección 5.3.12.
6. *Plantilla de curso instanciada* (producto), aplicada a los cursos de ambas figuras profesionales.

Salida hacia la fase siguiente. Una plataforma construida, con sus dos sitios iniciales publicados, su pila de servicios operativa y su localización instalada, verificada mediante pruebas de humo y lista para recibir usuarios reales.

4.2.6 Fase 4. Implementación

Descripción de la fase. Se inició la operación del EVA en condiciones reales: publicación del portal institucional y del campus virtual, creación de las cuentas de docentes y estudiantes,

comunicación a la comunidad educativa y soporte directo durante las primeras semanas de uso. En coherencia con el principio de adaptación continua que ADDIE prescribe para esta etapa, se realizaron ajustes durante la operación, en lugar de considerar la configuración inicial como definitiva: la revisión de los parámetros de PHP-FPM a partir del consumo real medido (sección 5.3.10), el endurecimiento de la configuración de transporte cifrado que elevó la calificación externa de B a A+ el 24 de julio de 2026, y la detección y corrección de la ausencia de la tarea programada de Moodle (sección 4.10.7).

Corresponde declarar aquí una decisión metodológica que este trabajo asume de forma explícita: dado el carácter técnico y continuo del despliegue sobre infraestructura Cloud, las fases de Desarrollo e Implementación se ejecutaron de manera integrada dentro del tercer objetivo del sistema de tareas (Tabla 2.2), y no como dos bloques temporalmente separados. La razón es que, en un despliegue sobre un único servidor autogestionado, construir y poner en operación no son momentos sucesivos sino aspectos del mismo proceso: cada componente se verifica en producción antes de que el siguiente pueda construirse sobre él. Declararlo evita una fragmentación artificial del relato metodológico y, sobre todo, evita atribuir a una fase decisiones que en realidad se adoptaron en la otra.

Artefactos e instrumentos generados. La fase produjo cuatro artefactos:

1. *Procedimiento de despliegue y administración documentado paso a paso* (secciones 4.11 y 5.3), que cumple la función de transferencia institucional del conocimiento operativo: cada operación consta con su orden de ejecución, su condición de verificación y su resultado obtenido sobre el servidor en producción.
2. *Evidencia gráfica de la plataforma en producción* (Figuras 5.4 a 5.12), que documenta el estado efectivo de cada componente publicado.
3. *Cronograma institucional de cierres escalonados de actividades* (artefacto de política operativa), acordado con la directiva docente para distribuir la concurrencia de última hora entre distintos días de la semana.
4. *Registro de ajustes en operación* (artefacto), que asocia cada modificación posterior a la puesta en producción con el hallazgo que la motivó.

Salida hacia la fase siguiente. Una plataforma en uso académico real durante un período verificable, condición sin la cual las mediciones de usabilidad y de adopción de la fase de Evaluación carecerían de validez.

4.2.7 Fase 5. Evaluación

Descripción de la fase. La Evaluación se ejecutó en sus dos modalidades. La *evaluación formativa* corresponde a las pruebas de funcionamiento y a los casos de prueba funcionales

realizados durante el propio desarrollo (secciones 5.4 y 5.5), orientados a corregir el artefacto antes de su liberación y ejecutados contra umbrales definidos a priori. La *evaluación sumativa* corresponde a la aplicación censal de la Escala SUS y al análisis de las métricas de adopción tras cuatro semanas de uso real (secciones 5.6.4 y 5.7), orientadas a valorar el resultado final desde la percepción y desde la conducta de los usuarios.

A estas dos modalidades este trabajo incorpora una tercera, menos habitual en trabajos de titulación de esta naturaleza y que constituye uno de sus aportes metodológicos: una *auditoría técnica de la infraestructura* ejecutada sobre el servidor en producción conforme al protocolo de la sección 4.15, cuyo propósito es evaluar la capa Cloud con la misma exigencia probatoria con que se evalúa la capa pedagógica. Sin ella, las afirmaciones sobre disponibilidad, dimensionamiento, seguridad y sostenibilidad de la infraestructura descansarían en declaraciones de configuración y no en mediciones.

Artefactos e instrumentos generados. La fase produjo cinco artefactos:

1. *Plan de pruebas de funcionamiento* con umbrales definidos a priori y *plan de prueba de carga* con todos sus parámetros especificados, suficientes para reproducir el escenario (sección 4.14).
2. *Batería de casos de prueba funcionales* trazables a las historias de usuario (Tabla 5.23).
3. *Cuestionario SUS de diez ítems* (instrumento estandarizado adaptado, sección 4.4.4) y su hoja de tabulación y cálculo.
4. *Protocolo de auditoría técnica de la infraestructura Cloud* (instrumento de elaboración propia, Figura 4.11 y Tabla 4.27), con sus reportes de salida sin edición (Anexo H).
5. *Matriz de métricas de adopción* extraída de los reportes y registros de Moodle (Tabla 5.26).

Salida hacia el ciclo siguiente. Los hallazgos de esta fase retroalimentan directamente las recomendaciones del capítulo 6, en coherencia con el principio de mejora continua del modelo. Esta realimentación no es retórica: cuatro de las recomendaciones técnicas (acotar el techo de procesos concurrentes, alinear el límite de conexiones del motor de datos, completar la integración de la caché externa y fijar la política de retención de respaldos) proceden literalmente de mediciones de la fase de Evaluación y constituyen la entrada del Análisis del ciclo siguiente.

4.2.8 Matriz consolidada de artefactos e instrumentos por fase

La Tabla 4.3 consolida los veintitrés artefactos e instrumentos producidos a lo largo de las cinco fases, clasificados por su naturaleza (instrumento de recolección, artefacto de diseño, producto técnico o registro de verificación) y con la ubicación exacta donde cada uno puede ser inspeccionado. Esta matriz cumple una función de auditoría documental: permite comprobar que

ninguna afirmación del capítulo de resultados carece de artefacto de respaldo y, a la inversa, que ningún artefacto producido quedó sin uso analítico en el informe.

Tabla 4.3. Matriz consolidada de artefactos e instrumentos generados en cada fase del modelo ADDIE.

Fase	Artefacto o instrumento	Naturaleza	Ubicación en el informe
Análisis	Ficha de observación institucional	Instrumento	Tabla 5.1; Anexo A
	Cuestionario diagnóstico (4 secciones)	Instrumento	Tablas 4.4–5.3; Anexo A
	Matriz de análisis documental	Artefacto de diseño	Sección 5.1
	Matriz de necesidades (4 requerimientos)	Artefacto de diseño	Cierre de la sección 5.1
Diseño	Matriz de requerimientos RF/RNF	Artefacto de diseño	Tabla 4.5
	Matriz de selección del LMS	Artefacto de diseño	Tabla 3.2
	Matriz de criterios y proveedores IaaS	Artefacto de diseño	Tablas 3.5 y 4.12
	Diagramas de arquitectura y de ruta de despliegue	Artefacto de diseño	Figuras 4.6 y 4.4
	Plantilla de curso por fases del MOSEIB	Artefacto de diseño	Sección 3.2.1; Figura 5.11
	Historias de usuario y <i>backlog</i>	Artefacto de diseño	Tabla 4.25
Desarrollo	Lista de verificación de despliegue	Registro de verificación	Tabla 4.14
	Bitácora de comandos y configuraciones	Registro de verificación	Tablas 4.16–4.22
	Archivos de configuración versionados	Producto técnico	Fragmentos de la sección 4.11
	Paquete de idioma lang/qvo (73 cadenas)	Producto técnico	Sección 4.12
	Guiones de respaldo y tareas programadas	Producto técnico	Tabla 4.22; Figura 5.31
	Plantilla de curso instanciada	Producto técnico	Tabla 5.4
Implementación	Procedimiento de administración documentado	Producto técnico	Secciones 4.11 y 5.3
	Evidencia gráfica de producción	Registro de verificación	Figuras 5.4–5.12
	Cronograma de cierres escalonados	Artefacto de diseño	Etapas 5 del despliegue
	Registro de ajustes en operación	Registro de verificación	Secciones 4.10.7 y 5.3
Evaluación	Plan de pruebas y plan de prueba de carga	Instrumento	Sección 4.14
	Batería de casos de prueba funcionales	Instrumento	Tabla 5.23
	Cuestionario SUS de 10 ítems	Instrumento	Sección 4.4.4; Anexo A
	Protocolo de auditoría técnica Cloud	Instrumento	Tabla 4.27; Anexo H
	Matriz de métricas de adopción	Registro de verificación	Tabla 5.26

Fuente: elaboración propia.

4.3 Población, muestra y criterios de inclusión

El estudio distingue explícitamente dos unidades de análisis, en coherencia con el alcance declarado en la Introducción. La unidad de diagnóstico y evaluación la conforman los 38 integrantes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz (8 docentes técnicos y 30 estudiantes), sobre quienes se aplicó censo tanto en la encuesta diagnóstica como en la Escala SUS, dado el tamaño reducido y accesible de la población. La unidad de dimensionamiento y políticas operativas es la matrícula institucional completa (240 estudiantes matriculados, dimensionada sobre una capacidad máxima proyectada de 300), utilizada exclusivamente para proyectar la concurrencia, dimensionar la infraestructura y definir las políticas de sostenibilidad; sobre esta unidad no se aplicaron instrumentos de percepción.

Los criterios de inclusión para la unidad de diagnóstico y evaluación fueron: (a) ser docente o estudiante activo de las figuras profesionales de Mecatrónica o Electromecánica Automotriz de la UECIB San Francisco de Asís durante el año lectivo de ejecución del proyecto; y, para la

aplicación del SUS, (b) haber utilizado la plataforma en actividades académicas reales durante al menos cuatro semanas previas a la encuesta. Como criterio de exclusión se estableció no haber interactuado con la plataforma en el período señalado; ningún participante del censo incurrió en esta condición (tasa de respuesta del 100 % en ambos instrumentos). La delimitación a estas dos figuras profesionales responde al alcance de la propuesta institucional que originó el proyecto, centrada en el bachillerato técnico, y a la disponibilidad de docentes y contenidos técnicos para la carga inicial de la plataforma; la extensión a las demás figuras y niveles queda planteada en las recomendaciones.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para el levantamiento de requerimientos y la evaluación del entorno virtual se emplearon cuatro técnicas, cada una con su instrumento asociado, en correspondencia con la matriz de tareas por objetivos (Tabla 2.2).

4.4.1 Observación

Se realizaron visitas a la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe San Francisco de Asís, los días 9, 10 y 13 de abril de 2026, con el propósito de constatar el estado de la infraestructura tecnológica disponible (equipos, laboratorio, conectividad) y las prácticas actuales de gestión de las actividades académicas. El instrumento aplicado fue una ficha de observación estructurada en tres dimensiones: equipamiento tecnológico, conectividad institucional y prácticas de gestión académica. Los hallazgos de esta técnica constituyeron el insumo principal de la línea base del proyecto (sección 5.1).

4.4.2 Encuesta diagnóstica

Se aplicó una encuesta a docentes y estudiantes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz, mediante formularios digitales, con el objetivo de determinar el nivel de alfabetización digital, el acceso a dispositivos y conectividad fuera de la institución, y la disposición hacia el uso de un entorno virtual de aprendizaje. El cuestionario diagnóstico se estructuró en cuatro secciones: (1) datos generales; (2) acceso a tecnología (dispositivo principal, tipo de conexión, frecuencia de acceso a internet); (3) competencias digitales (autovaloración en escala de Likert de 5 niveles sobre uso de navegadores, correo electrónico, plataformas educativas y herramientas ofimáticas); y (4) expectativas frente al EVA (utilidad percibida, preferencia de idioma de la interfaz, tipo de actividades de mayor interés). La Tabla 4.4 presenta la ficha técnica del instrumento.

Tabla 4.4. Ficha técnica de la encuesta diagnóstica.

Elemento	Detalle
Población objetivo	Docentes y estudiantes de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz
Tamaño de la población	38 personas (8 docentes técnicos y 30 estudiantes)
Muestra / censo aplicado	Censo: 38 participantes (8 docentes técnicos y 30 estudiantes)
Fechas de aplicación	Hasta el 15 de abril de 2026 (previa a la implementación del EVA)
Medio de aplicación	Formulario digital
Tasa de respuesta	100 % (respondieron los 38 integrantes del censo)

Fuente: elaboración propia.

4.4.3 Revisión documental

Se analizaron tres tipos de documentos: (a) el Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) y su guía metodológica, para derivar la estructura pedagógica de los cursos conforme a las cuatro fases del sistema de conocimientos [13], [14]; (b) la documentación oficial de Moodle, para determinar los requerimientos técnicos de instalación y las opciones de configuración multilingüe [20], [23]; y (c) la propuesta técnica institucional presentada al Rectorado de la UECIB-SFA para la habilitación del dominio .edu.ec y del hosting, que estableció los lineamientos institucionales, legales y de seguridad del proyecto. El instrumento asociado fue una matriz de análisis documental que relacionó cada requerimiento identificado con su fuente.

4.4.4 Encuesta de usabilidad (Escala SUS)

Para la evaluación de la plataforma implementada se aplicó la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS), instrumento estandarizado de diez ítems con escala de Likert de cinco puntos (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo), propuesto originalmente por Brooke [37] y validado para la evaluación de sistemas LMS [5]. Los ítems se adaptaron al contexto de la plataforma institucional de la siguiente manera:

1. Creo que me gustaría utilizar el campus virtual con frecuencia.
2. Encuentro el campus virtual innecesariamente complejo.
3. Creo que el campus virtual es fácil de usar.
4. Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizar el campus virtual.
5. Encuentro que las diversas funciones del campus virtual están bien integradas.
6. Creo que hay demasiada inconsistencia en el campus virtual.
7. Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a utilizar el campus virtual muy rápidamente.

8. Encuentro el campus virtual muy incómodo de usar.
9. Me siento seguro/a al utilizar el campus virtual.
10. Necesité aprender muchas cosas antes de poder manejar el campus virtual.

El puntaje SUS de cada encuestado se obtiene normalizando sus respuestas a una escala de 0 a 100: a los ítems impares (formulados en sentido positivo) se les resta 1, y para los ítems pares (formulados en sentido negativo) la contribución es 5 menos la puntuación; la suma de las diez contribuciones se multiplica por 2,5, conforme al procedimiento de puntuación definido por Brooke [37] y expresado en la ecuación (4.1):

$$SUS = 2,5 \left[\sum_{i \in \{1,3,5,7,9\}} (P_i - 1) + \sum_{j \in \{2,4,6,8,10\}} (5 - P_j) \right] \quad (3.1)$$

donde P_i y P_j son las puntuaciones asignadas por el encuestado a cada ítem. El puntaje del sistema corresponde al promedio de los puntajes individuales. Como referencia interpretativa, un valor de 68 representa el promedio general de la escala, y puntajes superiores a 80,3 se ubican en el rango de aceptabilidad “excelente” (grado A), umbrales establecidos empíricamente por Bangor et al. [38] y utilizados en la literatura de LMS [5], [6]. El puntaje SUS es una medida adimensional de 0 a 100 y no debe interpretarse como porcentaje de aceptación.

La versión en español de los diez ítems del SUS aplicada en este estudio corresponde a una traducción propia, elaborada directamente a partir de la versión original en inglés de Brooke [37], con una única adaptación léxica declarada (la sustitución del término genérico “sistema” por “campus virtual”, para anclar las respuestas a la plataforma institucional evaluada) y preservando la estructura de cinco ítems formulados en sentido positivo y cinco en sentido negativo propia del instrumento original. La traducción no fue sometida a un proceso formal de revisión por terceros ni de retrotraducción; esta limitación se declara expresamente en la sección 5.11. No obstante, la consistencia interna del instrumento aplicado, verificada mediante el coeficiente alfa de Cronbach ($\alpha = 0,91$; sección 5.6.4), respalda que la traducción utilizada fue funcionalmente equivalente al instrumento original y comprendida de manera uniforme por los participantes.

4.5 Validación y confiabilidad de los instrumentos

Los dos instrumentos de percepción del estudio tienen estatus psicométrico distinto y así se declara. La Escala SUS es un instrumento estandarizado con validez y confiabilidad ampliamente documentadas en la literatura, incluida su aplicación a plataformas LMS [5], [37], [38]; su adaptación en este trabajo se limitó al cambio léxico ya descrito, que no altera la estructura ni el sentido de los ítems. Como verificación de confiabilidad en la propia muestra, se reporta el coeficiente alfa de Cronbach calculado sobre las respuestas de los 38 participantes (sección 5.6.4).

El cuestionario diagnóstico, por ser de elaboración propia, requiere evidencia de validez de contenido y de confiabilidad que debe quedar documentada en esta sección y en el Anexo A. El cuestionario diagnóstico no fue sometido a un proceso formal de juicio de expertos ni a una prueba piloto previa a su aplicación; esta ausencia se declara expresamente como limitación metodológica en la sección 5.11. No obstante, la fiabilidad de su sección de competencias digitales (ítems P2.1–P2.5) se verificó a posteriori mediante el coeficiente alfa de Cronbach sobre los datos ya recolectados de los 38 participantes: $\alpha = 0,945$, valor que se ubica en el rango de consistencia interna excelente y respalda la robustez del instrumento pese a la ausencia de validación previa por juicio de expertos.

Finalmente, se deja constancia de una limitación de diseño de ambos instrumentos, coherente con el análisis de la sección 5.11: fueron aplicados únicamente en español, pese a que la población es mayoritariamente kichwa-hablante y la propia plataforma es bilingüe; el riesgo de sesgo de comprensión asociado se discute en las limitaciones y motiva la recomendación de validar una versión Kichwa del SUS.

4.6 Plan de análisis estadístico

El procesamiento de los datos de la encuesta diagnóstica y del SUS se realizó en hoja de cálculo, con estadística descriptiva: para los indicadores porcentuales del diagnóstico, proporciones por grupo (docentes y estudiantes); para las escalas Likert y los puntajes SUS, media y desviación estándar por ítem, y para los puntajes SUS individuales, media, desviación estándar, mínimo, máximo, mediana y cuartiles. Los resultados del SUS se desagregan por subgrupos (docentes frente a estudiantes), dado que el diagnóstico evidenció perfiles digitales distintos entre ambos (4,73 frente a 3,97 en competencias digitales). Al tratarse de un censo ($n=38$) no se requiere inferencia para generalizar a la población evaluada; de manera opcional y con carácter exploratorio, la comparación de los puntajes SUS entre subgrupos puede complementarse con la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, apropiada para muestras pequeñas y datos ordinales. No se registraron datos perdidos (tasa de respuesta del 100 % en ambos instrumentos). El procesamiento y la tabulación de los datos se realizaron en la hoja de cálculo Microsoft Excel, en la que se

calcularon los estadísticos descriptivos, el puntaje SUS individual (ecuación (4.1), con los ítems pares invertidos), el coeficiente alfa de Cronbach y la prueba U de Mann-Whitney reportados en la sección 5.6.4.

4.7 Aspectos éticos

El estudio involucra el tratamiento de datos personales de una población conformada mayoritariamente por niñas, niños y adolescentes (30 de los 38 participantes son estudiantes de bachillerato), por lo que se adoptaron las siguientes salvaguardas, en coherencia con la LOPDP y su Reglamento analizados en el marco teórico [40], [41]:

- Consentimiento informado de los representantes legales: para los estudiantes menores de edad, la participación en la encuesta diagnóstica y en la Escala SUS fue autorizada mediante consentimiento informado suscrito por su representante legal, que describe la finalidad del estudio, el carácter voluntario de la participación y el tratamiento previsto de los datos. Los formularios suscritos se conservan en el archivo de la institución y no se reproducen en este informe, por contener datos personales de menores de edad.
- Asentimiento informado de los menores: de manera complementaria al consentimiento del representante, se recabó el asentimiento de los propios estudiantes menores de edad, respetando su derecho a ser informados y a manifestar su acuerdo conforme al principio del interés superior del menor.
- Consentimiento de los participantes adultos: los docentes y los estudiantes mayores de edad suscribieron directamente su consentimiento informado.
- Anonimización y minimización de datos: los formularios de la encuesta diagnóstica y del SUS se procesaron de forma anonimizada (sin nombres ni identificadores personales en la base de tabulación), recolectando únicamente los datos indispensables para los fines del estudio, conforme a los principios de minimización y finalidad de la LOPDP.
- Autorización institucional: la ejecución del proyecto contó con el aval del Rectorado de la institución (Anexo D) y se enmarca en la propuesta técnica presentada al propio Rectorado (Anexo E).
- Protección de los datos en la plataforma y sus respaldos: las medidas técnicas descritas en este capítulo (cifrado del transporte, roles y privilegios limitados, aislamiento de moodledata, respaldos) aplican también a los datos personales de los participantes; el tratamiento de los respaldos externalizados, por contener datos de menores, se aborda expresamente en la política de respaldos y en la matriz de riesgos.

Tabla 4.5. Matriz de requerimientos funcionales y no funcionales del sistema.

ID	Requerimiento	Fuente / criterio	Verificación
RF1	Gestión de usuarios con roles diferenciados de administrador, docente y estudiante, con permisos acordes a cada perfil.	Necesidad institucional; documentación Moodle [27]	Sección 5.2
RF2	Organización de los cursos en categorías por figura profesional (Mecatrónica y Electromecánica Automotriz).	Alcance del proyecto	Sección 5.2
RF3	Estructura interna de cada curso conforme a las cuatro fases pedagógicas del MOSEIB (dominio, aplicación, creación y socialización).	MOSEIB [13], [14]	Sección 5.2
RF4	Publicación de recursos educativos (archivo, carpeta, página, URL y libro).	Diagnóstico: necesidad de repositorio centralizado	Sección 5.2
RF5	Gestión de actividades asincrónicas (tarea, cuestionario, foro y consulta) con seguimiento y calificación.	Objetivo del proyecto	Sección 5.2
RF6	Interfaz bilingüe Kichwa-Español con selector de idioma disponible para el usuario.	Diagnóstico: preferencia bilingüe del 90 %; MOSEIB	Sección 5.2; verificación de uso en la sección 5.4.5
RF7	Autogestión de cuentas por correo electrónico (confirmación de cuenta y restablecimiento de contraseña).	Sostenibilidad operativa	Tabla 5.20
RF8	Portal web institucional informativo, funcionalmente separado del campus virtual.	Propuesta institucional (Anexo E)	Sección 5.2
RNF1	Acceso exclusivo mediante HTTPS con certificados válidos y renovación automática.	Marco de seguridad [23], [39]	Tabla 5.21
RNF2	Soportar picos de 30 a 60 usuarios concurrentes con tiempos de respuesta promedio $\leq 2-3$ s y sin errores.	Dimensionamiento (unidad de 300 estudiantes)	Tabla 5.18
RNF3	Seguridad de la información: moodledata fuera de la ruta pública, base de datos con usuario de privilegios limitados, respaldos diarios externalizados.	Marco de seguridad y LOPDP	Tabla 5.19; sección 5.2
RNF4	Interfaz simple y tema gráfico adaptable a dispositivos móviles.	Diagnóstico: predominio del teléfono inteligente (18 de 30 estudiantes)	Sección 5.4.5
RNF5	Escalabilidad vertical de la infraestructura (ampliación de vCPU, RAM y disco sin migración, desde el plan KVM 2 contratado).	Proyección de crecimiento	Sección 4.9; recomendaciones
RNF6	Operación sin costos de licenciamiento de software (pila de código abierto).	Modelo de auto-gestión institucional	Sección de costo-beneficio
RNF7	Límite de subida de archivos de 5 MB en todas las capas aplicables.	Política de mitigación de almacenamiento	Etapa 5 del despliegue
RNF8	Tratamiento de datos personales conforme a la LOPDP, con protección reforzada para menores.	Marco legal [40], [41]	Sección 4.7

Fuente: elaboración propia a partir del diagnóstico, el MOSEIB y la propuesta institucional.

4.8 Arquitectura de la solución e infraestructura Cloud

4.8.1 Modelo de despliegue

La solución se desplegó bajo el modelo de Infraestructura como Servicio (IaaS), mediante la contratación de un Servidor Privado Virtual (VPS) en el proveedor Hostinger, plan KVM 2, con virtualización dedicada de tipo KVM [31]. La Tabla 4.8 resume las especificaciones del servidor. La elección del modelo IaaS respondió a la necesidad de control total sobre el sistema operativo, la pila de software y las políticas de seguridad, conforme a lo fundamentado en el marco teórico, y al criterio de sostenibilidad económica del proyecto, financiado por autogestión institucional.

Justificación de la nube frente a un servidor local. La decisión de desplegar el entorno en infraestructura de terceros, y no sobre un servidor físico instalado en la propia unidad educativa, no obedeció a una preferencia tecnológica, sino a tres condiciones materiales verificadas durante el diagnóstico. La primera es la ausencia de infraestructura de alojamiento: la institución no dispone de servidores propios, ni de una sala de servidores acondicionada (con control de temperatura, protección eléctrica y seguridad física), ni de personal técnico dedicado en régimen permanente, de modo que un despliegue local habría exigido una inversión inicial y un costo de operación que exceden ampliamente la capacidad presupuestaria de la unidad educativa. La segunda, y determinante, es el suministro eléctrico intermitente en jornada vespertina: mientras el servicio se mantiene estable durante la mañana (aproximadamente de 07:00 a 12:30), en la franja de 14:00 a 19:00 se producen cortes no planificados atribuibles a las limitaciones de la red de distribución de la zona. Un servidor alojado en la institución quedaría, por tanto, fuera de servicio precisamente en el horario en que los estudiantes realizan sus actividades asincrónicas, y también durante fines de semana y períodos vacacionales, lo que comprometería el objetivo mismo de la propuesta. La tercera condición es habilitante: la institución sí dispone de conectividad a internet estable y con ancho de banda suficiente para el consumo de un LMS educativo, de modo que lo que faltaba no era el acceso a la red, sino un servidor confiable donde alojar la plataforma.

En consecuencia, el alojamiento en un centro de datos externo traslada la disponibilidad del servicio fuera del alcance de las contingencias eléctricas locales: la plataforma permanece accesible las veinticuatro horas con el respaldo del acuerdo de nivel de servicio del proveedor, con alimentación eléctrica redundante y sin requerir intervención técnica presencial. A ello se suma la eliminación de la inversión inicial en hardware y de los costos asociados a su mantenimiento, renovación y climatización. Esta decisión se revisa en las recomendaciones: la migración futura a un servidor local, o a un esquema híbrido, solo resultará pertinente cuando la institución consiga estabilizar su suministro eléctrico y disponer de personal técnico permanente, condiciones que no se cumplen en la etapa de implementación aquí documentada.

El impacto de la intermitencia eléctrica sobre la disponibilidad del servicio es la condición que resulta decisiva, porque afecta precisamente la franja horaria en la que se concentra el uso

asincrónico de la plataforma. La Tabla 4.6 contrasta ambas alternativas de despliegue por franja horaria, según las condiciones verificadas durante el diagnóstico.

Tabla 4.6. Disponibilidad proyectada del servicio por franja horaria según la alternativa de despliegue.

Franja horaria	Servidor local en la institución	Infraestructura en la nube (adoptada)
Jornada matutina (07:00–12:30)	Disponible: suministro eléctrico estable	Disponible
Jornada vespertina (14:00–19:00)	No disponible: cortes eléctricos no planificados	Disponible
Horario nocturno y fines de semana	No disponible: sin personal técnico presente ante fallos	Disponible
Períodos vacacionales	Riesgo de indisponibilidad prolongada	Disponible

Fuente: elaboración propia a partir de las condiciones verificadas en el diagnóstico.

La franja vespertina es, justamente, aquella en la que los estudiantes realizan sus entregas y consultas fuera del horario de clase, de modo que un servidor local quedaría inoperante en el momento de mayor demanda del modelo asincrónico. A esta consideración de disponibilidad se suma la comparación económica: la Tabla 4.7 contrasta la estructura de costos de ambas alternativas para el primer año de operación, escenario en el que la institución no disponía de presupuesto para inversión en infraestructura.

Tabla 4.7. Comparación de la estructura de costos del primer año: servidor local frente a infraestructura en la nube.

Concepto	Servidor local (descartada)	Nube IaaS (adoptada)
Hardware de servidor	Inversión inicial estimada	Sin inversión inicial
Acondicionamiento del recinto (climatización, seguridad física)	Inversión inicial estimada	Incluido en el servicio
Respaldo eléctrico (UPS, estabilizador, generador)	Inversión inicial estimada	Incluido en el servicio
Consumo eléctrico anual	A cargo de la institución	Incluido en el servicio
Mantenimiento y soporte técnico	Requiere personal dedicado	Incluido en el acuerdo de nivel de servicio
Copias de seguridad fuera de sitio	Requiere configuración e infraestructura adicional	<i>Snapshot</i> semanal del proveedor incluido
Desembolso del primer año	Inversión inicial no disponible en el presupuesto institucional	117,48 USD (según factura, Anexo G)

Fuente: elaboración propia; los valores de la columna de servidor local son estimaciones de referencia del mercado local y no cotizaciones formales.

Finalmente, tres condiciones adicionales refuerzan la pertinencia de la decisión en el contexto específico de un primer año de operación. La escalabilidad elástica permite redimensionar los recursos del servidor en minutos ante un crecimiento de la matrícula, frente al redimensionamiento físico que exigiría un equipo propio. La tolerancia al error operativo resulta relevante en una etapa de aprendizaje institucional, en la que los reinicios y reconfiguraciones son frecuentes: en la nube cada reinicio se ejecuta sin riesgo de daño por corte eléctrico y con restauración garantizada

desde el respaldo del proveedor. Y la administración remota, mediante el panel web y el acceso por consola segura, permite que el responsable técnico opere la plataforma sin desplazarse físicamente a la institución, condición determinante dada la ubicación de la unidad educativa. La evaluación de una eventual migración a infraestructura local, junto con las precondiciones que debería satisfacer, se plantea en las recomendaciones del capítulo 6.

Tabla 4.8. Especificaciones del servidor contratado (VPS Hostinger KVM 2).

Componente	Especificación
Plan contratado	KVM 2 (virtualización KVM dedicada)
Procesamiento	2 núcleos de vCPU
Memoria RAM	8 GB
Almacenamiento	100 GB en disco de estado sólido NVMe
Transferencia de datos	8 TB mensuales
Centro de datos	Estados Unidos — Boston (latencia estimada de 105 ms)
Sistema operativo aprovisionado	Ubuntu 22.04 LTS con aaPanel (imagen del proveedor)
Nombre de host	srv1832290.hstgr.cloud
Dirección IP pública (IPv4)	145.79.0.34
Usuario de administración (SSH)	root
Respaldo del proveedor	Programación semanal (<i>snapshot</i> del servidor)
Vigencia del servicio	Hasta el 15 de julio de 2027, con renovación automática activada

Fuente: panel de administración del proveedor [31] y plan de despliegue del proyecto.

La evidencia gráfica de estas especificaciones, tomada directamente del panel de administración del proveedor, se presenta en el capítulo de resultados (Figura 5.21), junto con su contraste contra la medición ejecutada sobre el propio sistema operativo del servidor (sección 5.3.5).

Respecto de la ubicación del centro de datos, la instancia se aprovisionó en Estados Unidos. Durante el proceso de contratación, el proveedor presentó las opciones de centro de datos disponibles para el plan KVM 2 junto con una estimación de latencia por región, calculada automáticamente desde la ubicación del comprador (Tabla 4.9). Las dos opciones de Boston (Massachusetts, EE. UU.) reportaron las latencias más bajas de todo el catálogo (102 y 105 ms); la alternativa de Brasil (São Paulo), geográficamente más próxima al Ecuador, registró una latencia mayor (179 ms), equiparable a las opciones europeas (179–204 ms) y sensiblemente inferior a las asiáticas (331–338 ms). Con base en esta comparación, realizada por el propio proveedor al momento de la contratación y no mediante una medición independiente posterior, se seleccionó el centro de datos de Boston (Estados Unidos), que el panel de administración registra como ubicación efectiva del servidor. La elección queda así justificada frente a la alternativa de Brasil: la proximidad geográfica no se tradujo, en la estimación del proveedor, en una menor latencia hacia el Ecuador.

4.8.2 Pila de software

Sobre el servidor se instaló una pila de software libre, seleccionada bajo el criterio de presupuesto cero en licencias (Tabla 4.10): Ubuntu Server 22.04 LTS como sistema operativo base; aaPanel como panel de control visual de código abierto, de consumo de memoria reducido, en reemplazo

Tabla 4.9. Latencia estimada por centro de datos disponible para el plan VPS KVM 2 al momento de la contratación.

Región	Centro de datos	Latencia estimada
Norteamérica	Estados Unidos – Boston 2	102 ms
Norteamérica	Estados Unidos – Boston	105 ms
Sudamérica	Brasil	179 ms
Europa	Francia	179 ms
Europa	Alemania	182 ms
Europa	Reino Unido	192 ms
Europa	Lituania	204 ms
Asia	India	331 ms
Asia	Malasia	338 ms
Asia	Indonesia	338 ms

Fuente: panel de contratación de Hostinger.

de paneles comerciales como cPanel o Plesk, cuyo licenciamiento representa del orden de 15 a 30 USD mensuales según sus precios públicos; Nginx como servidor web, seleccionado por su modelo de procesamiento asíncrono orientado a eventos, generalmente asociado a un menor consumo de memoria bajo concurrencia que el modelo por procesos de Apache; MySQL 8.0 como motor de base de datos relacional, uno de los motores soportados oficialmente por Moodle; y PHP 8.2 como entorno de ejecución, con las extensiones requeridas por Moodle (intl, opcache, mbstring, gd, soap, zip, entre otras). Como capas de optimización se previeron OPcache, en el propio intérprete, y Redis como almacén de caché externo para las sesiones y las cachés de aplicación de Moodle; el estado efectivo de esta última en el servidor auditado se reporta en la sección 5.3.7.

Tabla 4.10. Pila de software implementada.

Capa	Componente	Criterio de selección
Sistema operativo	Ubuntu Server 22.04 LTS	Estabilidad, soporte extendido, sin licenciamiento.
Panel de control	aaPanel	Código abierto, gratuito, consumo de memoria reducido.
Servidor web	Nginx	Procesamiento asíncrono por eventos; bajo consumo bajo concurrencia.
Base de datos	MySQL 8.0	Motor relacional soportado oficialmente por Moodle.
Entorno de ejecución	PHP 8.2 + extensiones	Requerimientos oficiales de Moodle.
Caché	OPcache + Redis	Optimización del rendimiento de Moodle.
Aplicaciones	Sitio institucional a medida (HTML/CSS/JS + PHP) y Moodle LMS (LTS)	Desarrollo propio para el portal; software libre, documentación amplia y comunidad activa para Moodle.
Certificados	Let's Encrypt (SSL/TLS)	Cifrado del transporte sin costo, renovación automática.

Fuente: elaboración propia.

Las afirmaciones técnicas de esta sección se sustentan en mediciones realizadas sobre el servidor en producción y en los precios de lista públicos de los proveedores. Respecto del panel de control, aaPanel mantiene una huella de memoria reducida, del orden de unos pocos MB según el monitor del propio panel, coherente con su condición de panel ligero de código abierto. En cuanto al costo de los paneles comerciales, los precios de lista consultados el 3 de abril de 2025 confirman

que cPanel se factura desde 27,46 USD/mes (plan *Solo*, una cuenta) hasta 69,99 USD/mes (plan *Premier*), y Plesk desde 2,00 USD/mes según el plan; el rango de 15 a 30 USD/mes empleado en el análisis de costo-beneficio es, por tanto, una estimación conservadora frente al precio real de cPanel. La elección de MySQL frente a MariaDB o PostgreSQL, ambos también soportados por Moodle, respondió a que es el motor listado como principal y más probado en la documentación oficial de Moodle, a su integración nativa con aaPanel (administración gráfica sin configuración adicional) y a su ecosistema más amplio de documentación y compatibilidad con *plugins*; MariaDB, aun siendo un *fork* compatible, presenta diferencias en funciones avanzadas (JSON, índices de texto completo) que pueden generar comportamientos inesperados en versiones específicas de Moodle, y PostgreSQL exige configuración adicional y tiene menor soporte en el ecosistema de *plugins* de terceros.

En cuanto al dimensionamiento de memoria, el *pool* de PHP-FPM quedó configurado por el instalador del panel en modo *dynamic*, con `pm.max_children = 100`, `pm.start_servers = 10`, `pm.min_spare_servers = 10`, `pm.max_spare_servers = 30` y un `memory_limit` de 128 MB por petición. Verificar si ese límite guarda proporción con la memoria física del nodo exige, sin embargo, precisar antes qué métrica de consumo resulta legítimo emplear, porque de esa elección depende por completo el resultado del cálculo. La memoria residente (RSS) que informan las herramientas de proceso contabiliza en cada trabajador la totalidad de las páginas que en realidad comparte con los demás (el binario del intérprete, la caché de código compilado y las bibliotecas del sistema), de modo que sumar el RSS de cien procesos cuenta esas páginas hasta cien veces y produce una sobreestimación que no puede sostenerse como base de un dimensionamiento ante un tribunal técnico. El criterio metodológico adoptado fue, en consecuencia, doble: medir el consumo por trabajador con la métrica de memoria proporcional (PSS), que reparte las páginas compartidas entre los procesos que efectivamente las usan y sí admite suma, y construir el argumento de capacidad sobre la cota superior que fija la configuración (`memory_limit` multiplicado por `pm.max_children`) y no sobre el consumo observado en reposo, que depende del tráfico del instante en que se mide. La aplicación de ambos criterios sobre el servidor en producción, y el hallazgo de dimensionamiento que de ella se deriva, se reportan en la sección 5.3.10.

Para garantizar la reproducibilidad y auditabilidad del despliegue, la Tabla 4.11 registra las versiones exactas de todos los componentes de la pila.

4.8.3 Selección del panel de control: justificación técnica y económica de aaPanel

Dentro de la pila descrita, el panel de control es el componente cuya elección tiene mayor incidencia sobre la sostenibilidad de la solución, y merece por ello una justificación propia y no una mención de paso. La razón es que el panel no aporta ninguna función que no pueda realizarse por línea de comandos: aporta la posibilidad de que esas funciones sean realizadas por alguien que no domina la línea de comandos. En una institución que, según se estableció en el

Tabla 4.11. Versiones exactas del software desplegado.

Componente	Versión declarada	Versión exacta instalada
Ubuntu Server	22.04 LTS	22.04.5 (Jammy Jellyfish)
aaPanel	—	8.0.4
Nginx	—	1.24.0
MySQL	8.0	8.0.45
PHP	8.2	8.2.31
Redis	—	6.0.16
Moodle	LTS vigente	4.3.11+ (Build: 20250411)
Tema de Moodle (adaptable)	—	Boost (Impulso) v4.3.11+
Paquete de idioma Kichwa	—	1.0.0

Fuente: verificación directa de versiones sobre el servidor en producción, 14 de agosto de 2026.

diagnóstico, no dispone de personal técnico especializado permanente, esa diferencia determina si la plataforma podrá seguir operando cuando el responsable técnico que la construyó ya no esté disponible, condición que la matriz de riesgos identifica como la amenaza de mayor probabilidad e impacto del proyecto (riesgo R5, sección 4.17).

La selección se resolvió aplicando cinco criterios, derivados de los requerimientos no funcionales del sistema. El primero es el **costo de licenciamiento**, condición eliminatoria en un modelo financiado por autogestión institucional con presupuesto cero en licencias (RNF6). El segundo es la **capacidad de alojar múltiples sitios independientes** sobre un mismo servidor, exigida por el hecho de que la propuesta institucional no comprendía únicamente el campus virtual, sino también el portal web informativo y, posteriormente, un sistema de gestión académica adicional, cada uno con su propio dominio, su propio certificado y su propia base de datos. El tercero es la **huella de recursos** del propio panel, dado que se ejecuta en el mismo nodo que la plataforma que administra y que la memoria es el recurso crítico del servidor. El cuarto es la **cobertura funcional integrada**: si el panel no administra certificados, cortafuegos, tareas programadas y respaldos, esas funciones vuelven a exigir línea de comandos y el beneficio se pierde. Y el quinto es la **curva de aprendizaje** para un administrador no especializado. La Tabla 4.12 aplica estos criterios a las alternativas evaluadas.

De la comparación se desprende que aaPanel fue la única alternativa que satisface los cinco criterios de forma simultánea. Los dos argumentos decisivos merecen enunciarse con precisión, porque son los que sostienen la decisión frente a una eventual objeción del tribunal.

El primero es económico y admite cuantificación directa: el licenciamiento de un panel comercial representa entre 180 y 360 USD anuales en el rango conservador empleado en el análisis de costo-beneficio, cifra que por sí sola excede el desembolso total de infraestructura del primer año (182,78 USD). Dicho de otro modo, adoptar un panel de pago habría más que duplicado el costo del proyecto sin aportar ninguna capacidad que la institución necesitara; el ahorro no es un beneficio marginal, sino la condición que hace viable el modelo de autogestión.

El segundo es funcional y explica por qué la decisión no podía resolverse instalando Moodle directamente sobre el sistema operativo. La propuesta institucional aprobada por el Rectorado

Tabla 4.12. Comparación de paneles de control de servidor frente a los criterios del proyecto.

Alternativa	Costo de licencia	Sitios independientes	Huella de memoria	Cobertura funcional y curva de aprendizaje
aaPanel (adoptado)	0,00 USD (código abierto, sin límite de cuentas)	Ilimitados en el mismo servidor	Reducida (unos pocos MB según el monitor del propio panel)	Integra servidor web, motor de datos, PHP y extensiones, certificados con renovación automática, cortafuegos, tareas programadas, respaldos y monitor de recursos. Interfaz en español; instalación mediante una sola orden.
cPanel/WHM	27,46 a 69,99 USD/mes según el plan (precios de lista de abril de 2025)	Ilimitados en los planes superiores	Media-alta	Cobertura funcional muy amplia y documentación extensa, pero el costo anual (330 a 840 USD) supera por sí solo entre dos y cinco veces el presupuesto anual completo de la infraestructura.
Plesk	Desde 2,00 USD/mes; los planes con dominios ilimitados escalan sensiblemente	Limitados por plan (10 dominios en el plan de entrada)	Media-alta	El plan de entrada no cubre los tres sitios previstos sin escalar a un nivel superior de pago, lo que reintroduce el costo recurrente que el modelo debe evitar.
CyberPanel	0,00 USD (edición comunitaria)	Ilimitados	Media	Alternativa libre viable, pero acoplada al servidor web OpenLiteSpeed y con una comunidad y documentación en español sensiblemente menores, lo que incrementa el costo de resolución de incidencias en autogestión.
Sin panel (administración por línea de comandos)	0,00 USD	Ilimitados	Nula	Máximo control y mínima superficie de administración expuesta, pero traslada la totalidad de la operación (certificados, respaldos, cortafuegos, tareas) a la consola, lo que resulta incompatible con el criterio de sostenibilidad por personal no especializado.

Nota: los precios de cPanel y Plesk corresponden a los precios de lista públicos consultados el 3 de abril de 2025 y se citan con fines comparativos, no como cotización vigente.

Fuente: elaboración propia a partir de la documentación pública de cada panel.

(Anexo E) no consistía en publicar un campus virtual aislado, sino en dotar a la unidad educativa de una *presencia digital institucional completa* sobre su propio dominio .edu.ec. Ello implica alojar en el mismo servidor varios servicios web independientes entre sí: el portal informativo en el dominio raíz, el campus virtual en un subdominio y, posteriormente, un sistema de gestión académica en un tercer subdominio, cada uno con su propia raíz de documentos, su propia base de datos, su propio certificado de transporte y su propio registro de bitácoras. Administrar esa multiplicidad por línea de comandos exige crear y mantener manualmente un bloque de servidor virtual por sitio, emitir y renovar un certificado por sitio, crear un usuario de base de datos por sitio y programar una tarea de respaldo por sitio; con el panel, cada una de esas operaciones se resuelve desde un formulario y queda registrada de forma homogénea. La Figura 4.3 representa esa capacidad de alojamiento múltiple, que constituye la razón funcional de la elección.

Corresponde, por último, declarar el costo de la decisión, porque ningún panel de control es gratuito en términos de seguridad. Incorporar un panel añade a la superficie expuesta un puerto de administración adicional y una interfaz web con privilegios elevados, que no existirían en una instalación gobernada exclusivamente por consola segura. Este trabajo asume esa contrapartida de forma consciente y la mitiga por dos vías declaradas en la política de endurecimiento (sección 4.10.7): la sustitución de la ruta de acceso por omisión, que retira la interfaz del alcance de los rastreadores automatizados, y el uso de credenciales robustas. La restricción por dirección de origen del puerto de administración, mitigación de tercer nivel, permanece pendiente y se

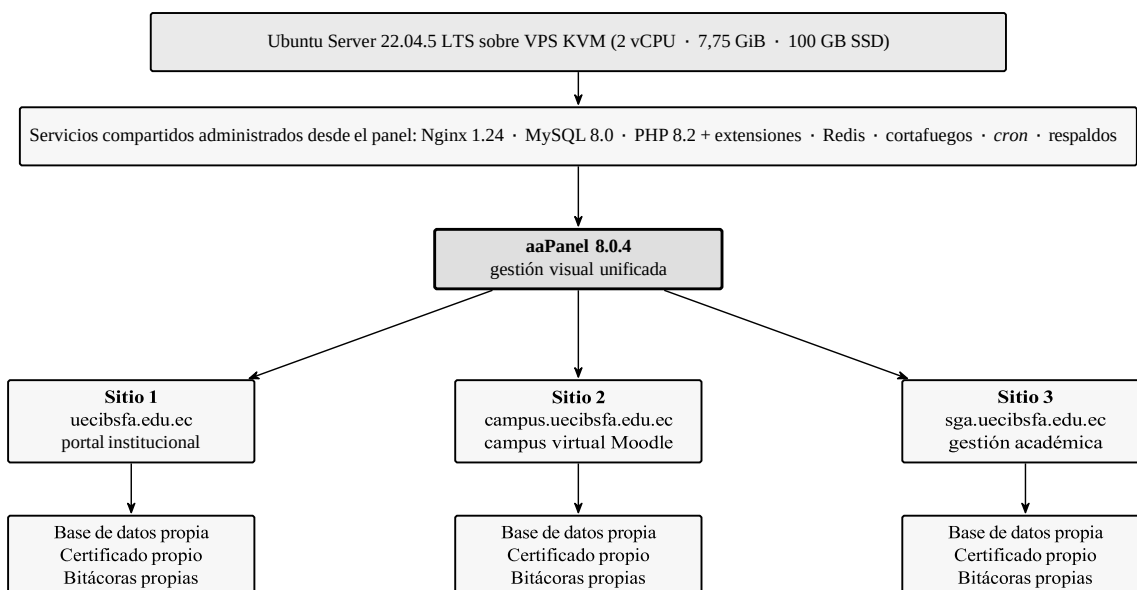


Figura 4.3. Diagrama de bloques del alojamiento de tres sitios institucionales independientes sobre un único servidor administrado con aaPanel.

Fuente: elaboración propia a partir de la configuración verificada en el servidor de producción.

registra en las recomendaciones; su ausencia se declara expresamente entre las debilidades de seguridad de la sección 5.3.13. El balance adoptado es, por tanto, explícito: se acepta un incremento acotado y mitigado de la superficie de administración a cambio de la sostenibilidad operativa de la plataforma por personal no especializado.

4.8.4 Ruta de despliegue adoptada: Ubuntu Server, aaPanel y Moodle

La decisión sobre el panel determina, a su vez, la ruta de construcción de la plataforma. El despliegue se estructuró en tres pasos encadenados, cada uno de los cuales debía quedar verificado antes de iniciar el siguiente: primero la máquina virtual con Ubuntu Server, endurecida y actualizada; sobre ella el panel de control aaPanel con la pila de servicios; y sobre esa pila el campus virtual Moodle. La Figura 4.4 representa esta ruta como diagrama de bloques, indicando en cada paso lo que se instala, la condición que debe cumplirse para avanzar y el resultado que queda disponible.

El resultado obtenido en cada uno de los tres pasos, con las salidas de consola que lo acreditan, se reporta en las secciones 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3, y el contraste de las ventajas aquí atribuidas a la ruta frente a la evidencia obtenida, en la sección 5.3.4. El procedimiento detallado de cada paso, con sus puntos de decisión y sus retornos por fallo de verificación, se representa como diagrama de flujo en la Figura 4.5. Su propósito es hacer explícito que el despliegue no fue una secuencia lineal de instalaciones, sino un procedimiento con comprobaciones intermedias en las que un resultado negativo obligaba a retroceder antes de continuar; tres de esos retornos se activaron efectivamente durante la ejecución (la propagación incompleta de la zona DNS, la

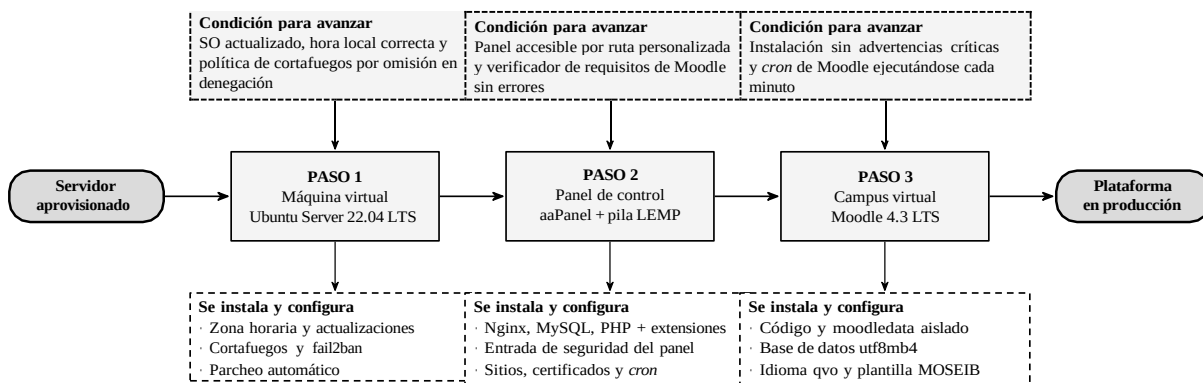


Figura 4.4. Diagrama de bloques de la ruta de despliegue en tres pasos.

Nota: sobre cada paso se indica la condición de verificación exigida para avanzar al siguiente, y bajo cada paso, los componentes que se instalan y configuran en él.

Fuente: elaboración propia.

ausencia inicial de la tarea programada de Moodle y la calificación B del análisis externo de transporte cifrado), y su resolución se documenta en el capítulo de resultados.

Por qué esta ruta y no la instalación directa de Moodle. La alternativa metodológicamente relevante que corresponde descartar de forma expresa es la instalación de Moodle directamente sobre el sistema operativo, compilando y configurando la pila por línea de comandos sin capa de administración intermedia. Se trata de la ruta que la documentación oficial describe y que resulta habitual en despliegues gestionados por equipos técnicos. Su descarte no obedece a desconocimiento del procedimiento (la sección 4.11 documenta el comando equivalente de cada operación, precisamente para acreditar que la ruta manual es conocida y reproducible), sino a un juicio de sostenibilidad. La Tabla 4.13 contrasta ambas rutas en las ocho operaciones que efectivamente componen el ciclo de vida de la plataforma.

La lectura de la tabla admite una síntesis que conviene formular sin ambigüedad, porque es el argumento que sostiene la decisión. La instalación directa produce exactamente el mismo resultado técnico y, en sentido estricto, una superficie de administración menor; lo que no produce es una plataforma que la institución pueda seguir operando por sí misma. Cada una de las ocho operaciones de la tabla debe repetirse a lo largo del ciclo de vida de la plataforma (un certificado se renueva, un respaldo se verifica, un sitio se agrega, una regla de cortafuegos se ajusta), y en el modelo de autogestión adoptado quien las ejecutará no es el autor de este trabajo sino el personal que la unidad educativa designe. La ruta con panel traslada, por tanto, la barrera de entrada de un nivel que la institución no puede cubrir a uno que sí puede, y ese traslado, y no una supuesta simplificación técnica, es lo que justifica la decisión. Sobre esa misma premisa se construyó la documentación operativa del trabajo: la sección 4.11 registra cada operación con su orden y su condición de verificación, y la sección 5.3 el resultado obtenido en producción, de modo que ambas sirvan de material de formación para el personal que la institución designe.

Tabla 4.13. Comparación de la ruta adoptada frente a la instalación directa de Moodle sin panel de control.

Operación del ciclo de vida	Instalación directa (sin panel)	Ruta adoptada: Ubuntu → aaPanel → Moodle
Instalación de la pila de servicios	Repositorios externos, resolución manual de dependencias y verificación individual de cada extensión de PHP.	Asistente gráfico con versiones compatibles preseleccionadas; el verificador de requisitos de Moodle se resuelve marcando extensiones en una lista.
Alta de un nuevo sitio	Redacción manual del bloque de servidor virtual, enlace simbólico, validación de sintaxis y recarga del servicio.	Formulario único que crea la raíz de documentos, el bloque de servidor, la base de datos y el usuario asociado.
Certificados de transporte cifrado	Instalación del cliente ACME, emisión por sitio y verificación de la tarea de renovación.	Emisión y renovación automática por sitio desde la ficha del propio sitio, con la fecha de vencimiento visible.
Gestión de bases de datos	Consola SQL para crear esquemas, usuarios y privilegios.	Formulario con creación de esquema, usuario y privilegios acotados en un solo paso.
Tareas programadas	Edición del archivo de tareas del usuario, con riesgo de error de sintaxis silencioso.	Formulario con periodicidad, usuario de ejecución y bitácora de salida por tarea.
Respallos y externalización	Guion propio de volcado y empaquetado, más configuración de la herramienta de sincronización remota.	Tarea de respaldo con destino remoto y política de retención configurables desde la interfaz.
Cortafuegos y bloqueo por fuerza bruta	Reglas por línea de comandos y edición de los archivos de configuración del servicio de bloqueo.	Reglas de puerto administradas desde la interfaz, con el estado visible y contrastable.
Monitoreo de recursos	Requiere instalar y mantener una pila de observabilidad adicional en el mismo nodo.	Monitor integrado con retención de 30 días y sin carga apreciable sobre el servidor.
Requisito de operación	Administrador con dominio de Linux por consola	Docente o administrativo capacitado en el uso del panel

Fuente: elaboración propia.

4.8.5 Criterios de configuración y ajuste del motor de base de datos

La selección del motor de base de datos, justificada en el apartado anterior, resuelve solo una parte del problema de rendimiento: una instalación de MySQL con los valores por omisión de la distribución está dimensionada para un servidor genérico y no para el patrón de acceso de un LMS, en el que un único curso puede desencadenar decenas de consultas por página. Por esta razón, la configuración del motor se abordó como una decisión de diseño sujeta a criterios explícitos y no como un paso de instalación.

El primer criterio, y el de mayor incidencia sobre el rendimiento de Moodle, es el dimensionamiento del *buffer pool* de InnoDB, la región de memoria en la que el motor mantiene en caché los datos y los índices de las tablas de uso frecuente. La documentación de administración de Moodle recomienda que este parámetro sea lo suficientemente amplio como para alojar el conjunto de trabajo de la base de datos, de modo que las consultas se resuelvan en memoria y no contra disco [23]. Ahora bien, ese criterio no puede aplicarse de forma aislada en una arquitectura de nodo único como la de este proyecto, donde el motor de base de datos compite por la misma memoria física con el gestor de procesos PHP-FPM, con Redis y con el propio sistema operativo. El criterio adoptado fue, por tanto, subordinar el dimensionamiento del *buffer pool* al presupuesto de memoria remanente una vez descontada la reserva de PHP-FPM establecida en el dimensionamiento por carga (sección anterior), en lugar de aplicar la regla

Tabla 4.14. Lista de verificación del despliegue, organizada por los tres pasos de la ruta adoptada.

Paso	Punto de verificación	Criterio de aceptación
Paso 1 Ubuntu	Distribución y versión del sistema operativo	Ubuntu 22.04 LTS con soporte extendido vigente
	Zona horaria del servidor	America/Guayaquil (UTC-5)
	Cortafuegos activo con política por omisión	Denegación de todo tráfico en trante no declarado
	Aplicación automática de parches de seguridad	Servicio de actualizaciones desatendidas activo
Paso 2 aaPanel	Panel accesible por ruta personalizada	La raíz del servicio devuelve error de página no encontrada
	Pila de servicios instalada y activa	Nginx, MySQL, PHP-FPM y Redis en ejecución y habilitados para arranque automático
	Extensiones de PHP requeridas por Moodle	Verificador de requisitos de Moodle sin errores
	Certificados emitidos con renovación automática	Vencimiento visible en el panel y tarea de renovación programada
Paso 3 Moodle	Directorio de datos fuera de la raíz web	El acceso por HTTP devuelve error 404
	Base de datos exclusiva y usuario acotado	Juego de caracteres utf8mb4 y privilegios limitados al esquema
	Instalación sin advertencias críticas	Página de notificaciones del sitio sin alertas de severidad alta
	Tarea programada en ejecución	Marcas de última ejecución recientes en los trabajos agenda-dos
	Interfaz bilingüe operativa	Selector de idioma con español y kichwa disponibles

Fuente: elaboración propia.

habitual de asignar una fracción fija de la memoria total del servidor, que en este escenario habría provocado competencia por memoria precisamente en los picos de concurrencia.

El segundo criterio atiende a la interacción entre el motor y la capa de caché. En el diseño previsto, Moodle delega en Redis las sesiones y las cachés de aplicación (sección 4.1.1), de modo que una porción sustancial de las lecturas repetitivas no alcanza a la base de datos y permite un *buffer pool* más contenido que el que requeriría una instalación sin caché externa. Este acoplamiento es la razón por la que la configuración del motor y la habilitación de Redis se trataron como decisiones articuladas y no independientes, y también la razón por la que la verificación posterior debía comprobar ambas capas de forma conjunta: si la delegación en Redis no llegara a estar vigente, el *buffer pool* pasaría a absorber por sí solo toda la presión de lectura, y su suficiencia tendría que evaluarse contra ese escenario y no contra el previsto. Ambos extremos se contrastan en la sección 5.3.9.

El tercer criterio corresponde al número máximo de conexiones simultáneas admitidas por el motor, que debe guardar coherencia con el número de procesos PHP-FPM que pueden solicitar una conexión al mismo tiempo: un valor inferior produciría errores de conexión bajo carga, mientras que un valor holgadamente superior reservaría estructuras de memoria por conexión que no llegarían a utilizarse. El criterio adoptado fue derivar este parámetro del dimensionamiento de procesos ya establecido, y no fijarlo de manera independiente. Finalmente, se adoptó como criterio de durabilidad mantener la configuración transaccional conservadora propia de InnoDB, dado que la plataforma administra calificaciones y entregas de estudiantes, información cuya pérdida ante una caída abrupta del servidor no resulta admisible aun a costa de un menor rendimiento de escritura.

Conviene precisar el estatuto de estos cuatro criterios. El motor fue instalado mediante el asistente del panel de control, que aplica su propio perfil de parámetros, de modo que los criterios anteriores no se emplearon para configurar el motor desde cero, sino como marco explícito frente al cual evaluar si la configuración resultante era adecuada para el perfil de carga del proyecto. Esta distinción es deliberada: verificar una configuración heredada contra criterios definidos con antelación permite tanto confirmar los parámetros que resultan apropiados como identificar aquellos que conviene ajustar, y evita atribuir al diseño decisiones que en realidad fueron adoptadas por el instalador del panel. El contraste de la configuración efectiva contra cada uno de los cuatro criterios se reporta en el capítulo de resultados (sección 5.3.9).

4.8.6 Arquitectura de red y dominios

El dominio institucional `uecibsf.edu.ec` fue tramitado y validado ante NIC.ec, cumpliendo los requisitos del Ministerio de Educación para dominios `.edu.ec`. El tráfico web se estructuró en dos servicios diferenciados sobre el mismo VPS: el sitio web institucional (informativo, admisiones y difusión) en `https://uecibsf.edu.ec`, desarrollado a medida en HTML, CSS y JavaScript, con procesamiento de formularios mediante PHP y una base de datos MySQL dedicada; y el campus virtual en el subdominio `https://campus.uecibsf.edu.ec`, implementado con Moodle LMS. La resolución de nombres se configuró mediante registros DNS (A, CNAME, MX y TXT/SPF) apuntados desde el panel de NIC.ec hacia la dirección IP pública del VPS. Ambos servicios operan exclusivamente sobre HTTPS mediante certificados SSL/TLS gratuitos de Let's Encrypt, con renovación automática. La Figura 4.6 presenta la arquitectura general de despliegue.

El diseño contempló desde el inicio la posibilidad de alojar servicios adicionales sobre la misma infraestructura, condición que motivó la elección del panel de control (sección 4.9.3) y que quedó reflejada en el esquema de alojamiento múltiple de la Figura 4.3. Esa previsión se materializó durante el período de operación: al cierre de este informe, un tercer servicio institucional (un sistema de gestión académica en el subdominio `sga.uecibsf.edu.ec`) opera sobre el mismo servidor, con su propia raíz de documentos, su propia base de datos y su propio certificado,

sin contratación adicional ni intervención sobre los dos sitios ya en producción. La Figura 4.6 representa la arquitectura de los dos servicios comprendidos en el alcance evaluado de esta propuesta; el tercero se documenta como evidencia de reutilización de la infraestructura en la sección 5.3.2 y no forma parte del objeto de evaluación.

4.8.7 Dimensionamiento por carga de usuarios

El dimensionamiento del servidor se justificó a partir del comportamiento del alumnado. La matrícula efectiva de la institución es de 240 estudiantes; no obstante, el dimensionamiento se realizó sobre una capacidad máxima proyectada de 300 estudiantes, margen adoptado deliberadamente para absorber el crecimiento de la matrícula sin necesidad de reescalar la infraestructura. Sobre esa capacidad de diseño se aplicó un modelo pedagógico predominantemente asíncrono (tareas, foros y cuestionarios con plazos abiertos distribuidos en varios días). Bajo este modelo, la concurrencia se proyectó, como supuesto de diseño, entre el 10 % y el 20 % de la matrícula, es decir, picos de 30 a 60 usuarios simultáneos realizando peticiones al mismo tiempo; al no disponerse de datos históricos de acceso propios ni de un referente publicado para instituciones comparables, este supuesto se adoptó de manera conservadora (el modelo de plazos abiertos con cierres escalonados dispersa deliberadamente la demanda) y se sometió a verificación posterior mediante las pruebas de carga y, de forma continua, mediante las métricas de adopción de la plataforma. La relación entre usuarios concurrentes y consumo de memoria puede aproximarse mediante la ecuación (4.2):

$$RAM_{requerida} = RAM_{base} + U_{conc} \times M_{proc} \quad (4.2)$$

donde RAM_{base} es la memoria reservada para el sistema operativo, el panel y los servicios de datos y caché; U_{conc} es el número de usuarios concurrentes; y M_{proc} es la memoria promedio por proceso PHP-FPM. La ecuación (4.2) es una aproximación simplificada de elaboración propia que, de manera deliberadamente conservadora, equipara cada usuario concurrente con un proceso PHP-FPM simultáneo; en la práctica, la relación entre usuarios conectados y peticiones concurrentes depende del tiempo de reflexión entre acciones, de la duración de cada petición y de la cola del gestor de procesos, por lo que el consumo real tiende a ser menor que el estimado (la propia documentación de rendimiento de Moodle emplea razones usuario-conectado a petición-concurrente). La Figura 4.7 aplica esta estimación de diseño a los dos escenarios de concurrencia proyectados; conviene subrayar que se trata de un cálculo previo a la implementación, con un supuesto de 150 MB por proceso y una equivalencia de un proceso por usuario, y que la medición posterior sobre el servidor (sección 5.3.10) corrige ambos supuestos a la baja y sustituye este cálculo como base del dimensionamiento definitivo.

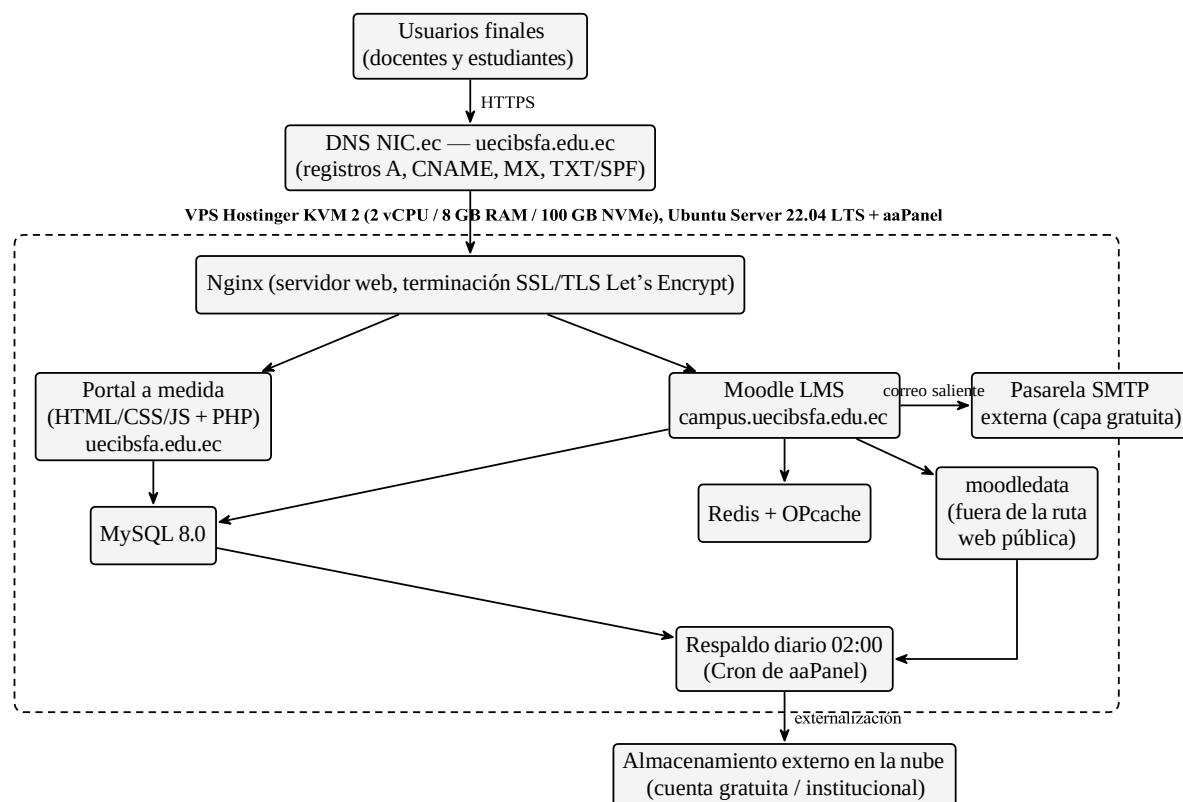


Figura 4.6. Arquitectura general de despliegue de la solución.

Fuente: elaboración propia.

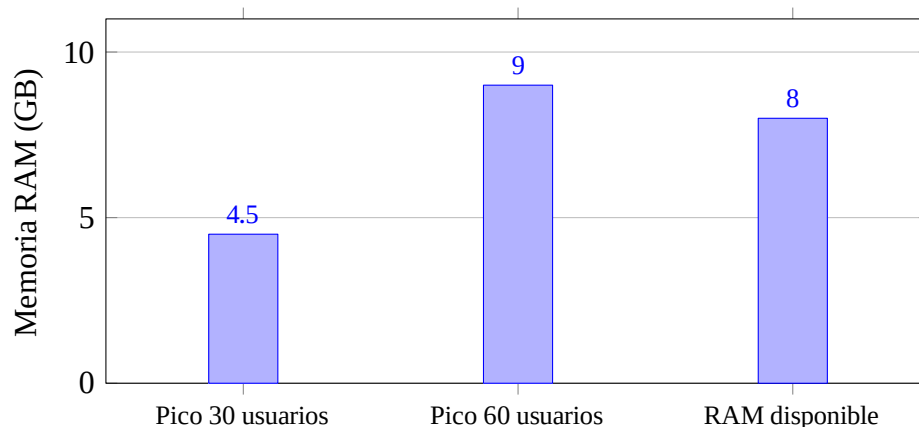


Figura 4.7. Estimación de diseño del consumo máximo de memoria de los procesos PHP-FPM frente a la memoria del servidor.

Nota: la estimación aplica la ecuación (4.2) con un supuesto de 150 MB por proceso y una equivalencia de un proceso por usuario concurrente, por lo que el escenario de 60 usuarios representa el peor caso teórico. El cálculo es anterior a la implementación; la medición sobre el servidor en producción se reporta en la sección 5.3.10 y corrige ambos supuestos a la baja.

Fuente: elaboración propia.

4.8.8 Alcance de la arquitectura: componentes no incorporados y sus condiciones de adopción

Una arquitectura Cloud de referencia para un LMS de alta demanda suele incorporar componentes que esta implementación deliberadamente no incluye: un balanceador de carga distribuyendo peticiones entre varios nodos de aplicación, una red de distribución de contenidos (CDN) sirviendo los archivos estáticos desde nodos geográficamente próximos al usuario, réplicas de lectura de la base de datos y almacenamiento de objetos desacoplado del servidor de aplicación. Declarar por qué no se incorporaron es tan parte del diseño como justificar lo que sí se implementó, ya que su ausencia no obedece a un olvido sino a un juicio de proporcionalidad entre la demanda real de la institución y el costo y la complejidad operativa que cada componente añade. La Tabla 4.15 sintetiza ese análisis y, sobre todo, declara la condición concreta que obligaría a reconsiderar cada decisión.

Tabla 4.15. Componentes de arquitectura Cloud no incorporados, justificación de su exclusión y condición de adopción futura.

Componente	Justificación de la exclusión	Condición que obligaría a adoptarlo
Balanceador de carga	Presupone dos o más nodos de aplicación entre los cuales distribuir el tráfico; con un único VPS no habría destino alternativo y el balanceador solo añadiría un punto de fallo y un costo recurrente. La concurrencia proyectada se atiende dentro de la capacidad de un solo nodo.	Que la concurrencia sostenida se aproxime al límite de capacidad del nodo, o que la institución adopte un requisito de continuidad que no tolere la ventana de indisponibilidad de un nodo único.
Red de distribución de contenidos (CDN)	La totalidad de los usuarios se concentra en una misma localidad, de modo que la ventaja de una CDN, acercar el contenido a usuarios dispersos geográficamente, no se materializa; el beneficio marginal no compensa el costo ni la complejidad de invalidación de caché.	Que la plataforma se extienda a otras unidades educativas distantes, o que el peso de los materiales multimedia haga del ancho de banda del servidor un cuello de botella.
Réplicas de lectura de la base de datos	El patrón de uso asincrónico distribuye la demanda en el tiempo y no genera la presión de lectura sostenida que justifica una réplica; además, exigiría un segundo nodo con su costo y su administración.	Que el motor de base de datos se consolide como el recurso limitante bajo carga, una vez agotado el margen de la caché en Redis y del ajuste del motor (sección 4.9.5).
Almacenamiento de objetos desacoplado	El volumen de moodledata se mantiene holgadamente dentro del disco NVMe contratado, y su desacoplamiento introduciría latencia y una dependencia adicional sin resolver ninguna limitación actual.	Que el crecimiento de moodledata comprometa la capacidad del disco o la ventana de respaldo, escenario ya anticipado en la política de respaldos.

Fuente: elaboración propia.

El criterio transversal que ordena estas cuatro decisiones es el mismo que guio la selección del proveedor: la sostenibilidad operativa por personal no especializado. Cada componente añadido incrementa la superficie de administración de una plataforma que, según se estableció desde

el diagnóstico, debe poder ser mantenida sin un equipo técnico dedicado. Una arquitectura

sobredimensionada respecto de la demanda real no es una arquitectura más robusta, sino una que la institución no podría sostener; de ahí que el diseño priorice la capacidad efectiva de operación por encima de la sofisticación técnica. Conviene señalar, no obstante, que esta decisión tiene una contrapartida asumida de forma consciente: al operar sobre un nodo único sin redundancia, la arquitectura no ofrece tolerancia a fallos del servidor, limitación que se recoge de manera explícita en la sección 5.11 y cuya mitigación descansa en el esquema de respaldo y restauración verificado en las pruebas de funcionamiento.

4.9 Desarrollo e implementación de la plataforma

La implementación se ejecutó en cinco etapas secuenciales (Figura 4.8), conforme a la hoja de ruta técnica definida en la planificación del despliegue. Conviene precisar desde ahora la relación entre estas cinco etapas y los tres pasos de la ruta de despliegue de la sección 4.9.4, para evitar que dos numeraciones distintas induzcan confusión: las etapas 1 y 2 materializan los pasos 1 y 2 de la ruta (máquina virtual con Ubuntu Server y panel aaPanel con la pila de servicios); la etapa 4 materializa el paso 3 (despliegue de Moodle); y las etapas 3 y 5 corresponden, respectivamente, al segundo sitio alojado sobre la misma infraestructura y a las políticas transversales de sostenibilidad. En este documento el término *fase* queda reservado, por tanto, a las cinco fases del modelo ADDIE (sección 4.2), y el término *etapa* a estas cinco etapas técnicas del despliegue.

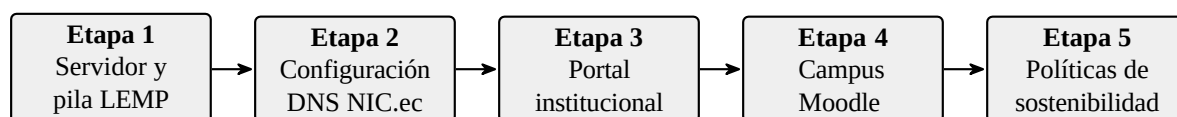


Figura 4.8. Etapas del despliegue técnico de la plataforma.

Fuente: elaboración propia.

4.9.1 Etapa 1 del despliegue: aprovisionamiento del servidor e instalación de la pila base

Tras la contratación del VPS KVM 2 en Hostinger, se realizó una instalación limpia de Ubuntu Server 22.04 LTS y se instaló el panel de control aaPanel. Desde el asistente inicial del panel se desplegó la pila LEMP: Nginx como servidor web, MySQL 8.0 como motor de base de datos y PHP 8.2 con las extensiones requeridas por Moodle. Se aplicó la configuración inicial de seguridad del servidor: cambio de la ruta de acceso al panel (*entrada de seguridad*), creación de credenciales robustas y activación del cortafuegos. La evidencia del panel con la pila ya instalada se presenta en el capítulo de resultados (Figura 5.4).

4.9.2 Etapa 2 del despliegue: configuración DNS del dominio institucional

Desde el panel de administración de NIC.ec se apuntaron los registros DNS del dominio uecibsf.edu.ec hacia la dirección IP pública del VPS: registros A para el dominio raíz y el

subdominio campus, y registros MX y TXT/SPF para habilitar el flujo de correo institucional y reducir la probabilidad de clasificación como correo no deseado. Se verificó la propagación de los registros antes de continuar con el despliegue de las aplicaciones; la zona DNS resultante se documenta en el capítulo de resultados (Figura 5.6).

4.9.3 Etapa 3 del despliegue: publicación del sitio institucional (desarrollo a medida)

Se creó el sitio `uecibsf.edu.ec` en aaPanel y se desplegaron en el directorio raíz (`/www/wwwroot/uecibsf.edu.ec/`) los archivos de un sitio web desarrollado a medida en HTML, CSS y JavaScript, en lugar de un gestor de contenidos como WordPress. Esta desviación frente a la planificación inicial se adoptó para reducir la superficie de ataque adicional que introduciría un CMS con complementos de terceros en el mismo VPS que aloja el campus virtual. Se preparó además una base de datos MySQL dedicada para que, mediante PHP, los formularios personalizados del sitio (por ejemplo, contacto o admisiones) puedan procesar y almacenar su información. Se emitió el certificado SSL gratuito de Let's Encrypt con renovación automática, forzando la redirección de todo el tráfico a HTTPS. El sitio se configuró como portal informativo institucional (información académica, admisiones y difusión), separado funcionalmente del campus virtual. El portal publicado se presenta en el capítulo de resultados (Figura 5.7).

4.9.4 Etapa 4 del despliegue: publicación del campus virtual (Moodle)

Se creó el sitio `campus.uecibsf.edu.ec` con su certificado SSL propio y se desplegó la versión LTS vigente de Moodle. Siguiendo las recomendaciones de seguridad de la documentación oficial [23], el directorio de datos moodledata se ubicó fuera de la ruta web pública, se creó una base de datos MySQL exclusiva con un usuario de privilegios limitados y se completó el asistente de instalación. Posteriormente se realizó la configuración funcional de la plataforma: instalación del paquete de idioma Kichwa junto al español para habilitar la interfaz bilingüe, creación de las categorías de cursos correspondientes a las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz, definición de los roles de administrador, docente y estudiante, y estructuración interna de los cursos conforme a las cuatro fases pedagógicas del MOSEIB, materializadas como secciones dentro de cada curso con sus recursos y actividades asociados (tareas, cuestionarios, foros y consultas). La interfaz bilingüe resultante y la estructura de curso alineada al MOSEIB se presentan como evidencia en el capítulo de resultados (Figuras 5.10 y 5.11).

Procedimiento de creación de contenidos. La carga inicial de contenidos técnicos de las asignaturas de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz se realizó a partir de los materiales proporcionados por los docentes de cada figura profesional (guías prácticas, manuales técnicos, videos y enlaces a simuladores), organizados por el administrador de la plataforma dentro de las secciones correspondientes a las cuatro fases del MOSEIB de cada curso, utilizando

los recursos y actividades descritos en el marco teórico. El inventario cuantitativo de cursos, recursos y actividades resultantes se reporta en el Análisis de Resultados (sección 5.2.4). La elaboración de los materiales estuvo a cargo del Ing. Damián Pinza, Mgr., Coordinador de Bachillerato Técnico de la institución, responsable de las dos figuras profesionales; la revisión y validación correspondió a la MSc. Narcisa Licuy, Rectora de la unidad educativa, quien verificó la correspondencia de los contenidos con la oferta académica vigente. La carga de los materiales en la plataforma se realizó durante el mes de junio de 2026, previamente al inicio de la evaluación de usabilidad. El criterio de organización por fases del MOSEIB responde a que la propia institución opera bajo dicho modelo educativo: la estructura de cada curso reproduce la *guía de interaprendizaje* que los docentes elaboraban previamente en formato impreso, de modo que la plataforma no introduce una lógica pedagógica ajena, sino que traslada al entorno digital la planificación que ya regía la práctica docente, sustituyendo la entrega de recursos en papel por su publicación en el campus virtual.

Cobertura del paquete de idioma Kichwa. La interfaz bilingüe se habilitó instalando el paquete de idioma Kichwa junto al español, con selector de idioma disponible para el usuario. Dado que los paquetes comunitarios suelen tener traducción parcial, la cobertura del paquete y el tratamiento de las cadenas no traducidas (resueltas por Moodle mediante el idioma padre configurado) forman parte de la documentación técnica de la plataforma, conforme a lo señalado en el marco teórico (sección 3.7). En concreto, se construyó e instaló el paquete propio lang/qvo (Kichwa amazónico, código ISO 639-3 qvo) en su versión 0.1, con 73 cadenas núcleo de las cuales 44 (60,3 %) cuentan con traducción propuesta y 29 se conservan en español; el idioma padre configurado es el español (parentlanguage = es), que resuelve automáticamente las cadenas no traducidas. El detalle del proceso de construcción, los niveles de confianza por cadena y la validación pendiente con hablante nativo se documentan en la sección 3.7.

4.9.5 Etapa 5 del despliegue: políticas de mitigación y sostenibilidad

Para favorecer la sostenibilidad de la plataforma sin gastos adicionales, se implementaron cuatro políticas operativas.

A. Mitigación de almacenamiento. Se configuró el límite máximo de subida de archivos en 5 MB, tanto en la directiva correspondiente de php.ini como en la administración central de Moodle, para prevenir la saturación de los 100 GB NVMe con archivos multimedia pesados. Como alternativa educativa, se normó la entrega de videos y proyectos multimedia mediante enlaces compartidos desde las cuentas de almacenamiento en la nube de los estudiantes, pegados dentro de la tarea de Moodle.

B. Plan de recuperación ante desastres. Se configuró una tarea programada (Cron Job) en aaPanel que ejecuta un respaldo diario automatizado a las 02:00 (hora de Ecuador) de tres componentes: las bases de datos MySQL de Moodle y del sitio institucional, las carpetas de código fuente de

ambos sitios y el directorio crítico moodledata. Los respaldos se externalizan automáticamente hacia almacenamiento en la nube mediante la integración de aaPanel, evitando ocupar espacio del disco local y el costo del servicio de respaldo del proveedor (12 USD/mes). La programación efectiva de esta tarea se documenta en el capítulo de resultados (Figura 5.31).

Del esquema anterior se derivan dos condiciones de sostenibilidad que deben quedar resueltas y documentadas:

- Capacidad del almacenamiento externo: el volumen agregado de las copias retenidas está acotado por la capa gratuita de 15 GB de la cuenta de destino declarada, que además comparte cuota con otros usos y que crecerá conforme aumente moodledata con las entregas de los estudiantes. El criterio adoptado fue, por tanto, dimensionar la política de retención (número de copias conservadas) y no únicamente el tamaño de cada copia, y verificar la relación entre ambos mediante medición directa sobre el servidor; el resultado de esa verificación se reporta en la sección 5.3.12.
- Protección de los datos personales respaldados: los respaldos contienen datos de menores de edad, por lo que su externalización debe acompañarse de cifrado del archivo de respaldo antes de la subida, control estricto de acceso a la cuenta de destino y evaluación de la transferencia internacional de datos conforme a la LOPDP, en línea con la sección de aspectos éticos.

En atención a lo anterior, la política de respaldos adoptada es la siguiente. El respaldo primario de recuperación ante desastres se apoya en el *snapshot* semanal automatizado que el proveedor Hostinger ejecuta sobre la totalidad del servidor, almacenado en infraestructura separada del VPS (centro de datos en Estados Unidos), con un tiempo de restauración estimado de unos 30 minutos; su costo es de 0 USD adicionales, al estar incluido en el plan KVM 2 contratado. Sobre esta base se define una política mixta de retención con compresión: los respaldos se mantienen comprimidos y, en caso de que el volumen agregado se aproxime al umbral de 15 GB de la capa gratuita de destino, se reducirá el número de copias conservadas o se escalará a un plan de mayor capacidad. En cuanto a la protección de los datos personales respaldados, a la fecha de este informe no se aplica cifrado del lado del cliente (por ejemplo, mediante `rclone crypt`) previo a la externalización: el control de acceso descansa en las credenciales del panel del proveedor, para el que se recomienda habilitar la autenticación de dos factores. La incorporación de cifrado en reposo del archivo de respaldo, recomendable para el tratamiento de datos de menores conforme a la LOPDP, se registra como mejora de seguridad pendiente en las recomendaciones.

C. Control del tráfico síncrono (“efecto examen”). Aunque el modelo pedagógico es de plazos abiertos, los cierres de actividades concentran conexiones de última hora. Para mitigarlo, se estableció con la directiva docente un cronograma de cierres escalonado: las actividades de los años inferiores cierran los días miércoles y jueves, mientras que las de Bachillerato cierran los días viernes y sábados, evitando que los 240 estudiantes coincidan en una misma hora de cierre.

D. Canal de correo saliente (SMTP). Dado que los puertos de correo de los VPS se encuentran bloqueados por defecto como medida antispam, se configuró en Moodle una pasarela SMTP externa de capa gratuita para el envío de correos automáticos (confirmación de cuentas, restablecimiento de contraseñas y recordatorios), orientada a asegurar su llegada a la bandeja de entrada; la configuración aplicada se documenta en el capítulo de resultados (Figura 5.35). Las capas gratuitas de estos servicios imponen límites de volumen diario (habitualmente del orden de 100 a 300 correos por día, según el proveedor), condición que debe considerarse ante eventos masivos como la creación simultánea de cuentas para los 300 estudiantes o los recordatorios de cierre de actividades; la mitigación adoptada consiste en escalonar la creación de cuentas y los envíos masivos, y monitorear el consumo de la cuota. Este riesgo se registra en la matriz de riesgos del proyecto (Tabla 4.30). La creación masiva de aproximadamente 300 cuentas de estudiantes no representa un riesgo de envío masivo de correo, dado que el Ministerio de Educación no asigna cuentas de correo electrónico a los estudiantes del nivel; por esta razón, dichas cuentas se autentican mediante usuario y contraseña asignados directamente por el administrador, sin flujo de correo de bienvenida ni de confirmación asociado. El personal docente y administrativo, en cambio, sí cuenta con direcciones de correo institucional reales registradas en Moodle, por lo que funciones como la recuperación de contraseña y las notificaciones del sistema (calificaciones, mensajería, recordatorios) sí dependen de un servidor SMTP. A la fecha de este informe, **no se ha configurado un proveedor SMTP** en la plataforma, por lo que estos envíos no se están completando; se recomienda configurar un remitente SMTP de bajo volumen (por ejemplo, una cuenta de Gmail, con un límite de 500 correos/día, ampliamente suficiente para el volumen de personal administrativo y docente) como tarea de cierre inmediata, registrada en la sección de Recomendaciones. Se identifica además, como línea de trabajo futura, la asignación de una cuenta de correo (institucional o personal, según se defina) a cada estudiante, lo que implicará evaluar las medidas de protección de datos personales de menores de edad correspondientes antes de su implementación.

E. Autenticación del correo saliente (SPF, DKIM y DMARC). Para la entregabilidad del correo, en la configuración DNS del dominio se publicó el registro TXT/SPF que autoriza a la pasarela SMTP como emisor legítimo del dominio (etapa 2 del despliegue). De manera complementaria, los estándares DKIM (firma criptográfica de los mensajes) y DMARC (política de alineación y reporte) son hoy prácticamente obligatorios para la entrega confiable, pues los principales proveedores de correo los exigen a los remitentes desde 2024; su configuración depende de las claves y registros que provea la pasarela SMTP utilizada. Dado que aún no se ha activado un proveedor SMTP (sección anterior), la firma DKIM del dominio tampoco se ha configurado, ya que depende de la clave pública específica que emite cada proveedor. No obstante, se agregó de forma preventiva un registro DMARC en modo de solo monitoreo (v=DMARC1; p=none) en la zona DNS de NIC.ec, bajo el host `_dmarc.uecibsf.edu.ec`, con el fin de comenzar a recibir reportes de autenticación de correo del dominio incluso antes de implementar el envío

institucional. La configuración de DKIM queda condicionada a la selección del proveedor SMTP, tarea pendiente descrita en la sección anterior.

4.9.6 Operación programada y caché de Moodle

La operación correcta de Moodle exige la ejecución periódica de su tarea programada (cron), responsable de los procesos internos de la plataforma (envío de notificaciones y recordatorios, procesamiento de colas, tareas de mantenimiento programadas), cuya configuración es un requisito operativo de la documentación oficial [23].

El cron de Moodle no se encontraba configurado en el servidor: la única tarea programada detectada en aaPanel correspondía a la renovación automática del certificado SSL de Let's Encrypt, sin ninguna entrada dedicada a `admin/cli/cron.php`. Se creó una nueva tarea programada de tipo “Guión de shell” en aaPanel, con periodicidad de 1 minuto (conforme a la recomendación de la documentación oficial de Moodle), ejecutada bajo el usuario root e invocando `/usr/bin/php /www/wwwroot/campus.uecibsf.edu.ec/admin/cli/cron.php`. El criterio de comprobación adoptado fue la revisión de *Administración del sitio > Servidor > Trabajos agendados*, donde las marcas de última ejecución de las tareas internas permiten confirmar que el cron opera con la periodicidad configurada; la verificación obtenida se reporta en la sección 5.2. Como oportunidad de mejora identificada, se recomienda migrar la ejecución de esta tarea del usuario root al usuario propietario de los archivos de Moodle (www), a fin de evitar la creación de archivos temporales con permisos elevados dentro de moodledata; esta acción se incorpora al checklist de endurecimiento del servidor. Se revisaron, por último, los parámetros críticos de PHP en producción (`max_input_vars` y `memory_limit`), cuyos valores se consignan igualmente en los resultados; el límite de memoria se identifica como un parámetro a monitorear conforme crezca el uso de la plataforma, dado que operaciones como la copia de seguridad y restauración de cursos completos o la generación de reportes extensos pueden requerir un valor mayor (habitualmente 256M o más en instalaciones de producción).

4.9.7 Seguridad y endurecimiento del servidor

Las medidas de seguridad implementadas y documentadas en el despliegue son: cambio de la ruta de acceso al panel de administración mediante la *entrada de seguridad* del propio panel, mecanismo que devuelve un error de página no encontrada a cualquier petición dirigida a la raíz del servicio y que, por tanto, sustrae la interfaz de administración del alcance de los rastreadores automatizados que exploran los puertos de administración conocidos (el valor configurado no se reproduce aquí, conforme al criterio de no divulgación de parámetros de acceso declarado en esta sección); credenciales robustas del panel, activación del cortafuegos del servidor, acceso exclusivo por HTTPS con TLS 1.2/1.3 en ambos sitios, aislamiento del directorio moodledata fuera de la ruta web pública, base de datos exclusiva para Moodle con usuario de privilegios

limitados, y respaldos diarios externalizados. Estas medidas materializan parcialmente el marco de seguridad del capítulo teórico.

De manera complementaria, y para cerrar la brecha entre el marco teórico y la implementación, se define la siguiente política de endurecimiento del servidor, cuya ejecución y evidencia deben quedar documentadas: (a) endurecimiento del acceso SSH (autenticación por claves, deshabilitación del acceso directo de root y, de ser posible, cambio de puerto o restricción por origen); (b) protección contra fuerza bruta mediante fail2ban o equivalente, cubriendo SSH, el panel y los formularios de acceso de Moodle; (c) política de actualizaciones y parches del sistema operativo y de Moodle (rama LTS), con ventanas de mantenimiento definidas; (d) activación y retención de *logs* de auditoría del sistema y de Moodle, conforme al marco teórico; (e) mitigaciones específicas para el sitio institucional a medida como superficie de ataque colateral en el mismo VPS: validación y saneamiento de las entradas de los formularios en PHP (prevención de inyección SQL y de *cross-site scripting*), uso de consultas preparadas para el acceso a su base de datos MySQL dedicada, y una regla de WAF equivalente si el volumen de tráfico lo justifica; (f) evaluación de la activación de la autenticación de múltiples factores (MFA) al menos para las cuentas de administrador de Moodle y del panel, en coherencia con el marco teórico; y (g) verificación de que el límite de subida de 5 MB esté configurado también en Nginx (directiva `client_max_body_size`), tercera capa junto a `php.ini` y la administración de Moodle.

El estado de cada literal de la política de endurecimiento, verificado sobre el servidor en producción, es el siguiente. (a) El endurecimiento del acceso SSH (autenticación por claves y deshabilitación del acceso directo de root) no se implementó en esta fase del proyecto; se trata de una decisión institucional consciente, motivada por el riesgo operativo de bloquear el acceso administrativo al servidor sin un procedimiento de recuperación probado, dado que actualmente existe un único responsable técnico de la infraestructura. Este riesgo residual queda aceptado y documentado, con la recomendación de abordarlo en una futura fase de mantenimiento del proyecto. (b) Se instaló y activó fail2ban con una jaula dedicada para SSH (5 intentos fallidos en 10 minutos activan un bloqueo de 1 hora), verificada operativa mediante `fail2ban-client status sshd`. Los contadores acumulados por la jaula durante el período de operación, que evidencian que la medida no es preventiva en abstracto sino que actúa sobre tráfico hostil real, se reportan en el capítulo de resultados (sección 5.3.13). (c) El sistema operativo aplica parches de seguridad de forma automática mediante el servicio `unattended-upgrades`, activo y en ejecución; las actualizaciones de Moodle (rama LTS) se gestionan de forma manual, con una revisión programada una vez por periodo académico. (d) El registro de auditoría del sistema operativo (`/var/log/auth.log`) está activo y sujeto a rotación automática mediante `logrotate`. En Moodle, el almacén de bitácoras (“Bitácora estándar”) está habilitado, con la retención configurada en “Nunca borrar bitácoras”, lo que garantiza la disponibilidad histórica completa de la actividad de la plataforma a costa de un crecimiento continuo de la base de datos; se recomienda revisar periódicamente el tamaño de la tabla de bitácoras y definir una política de

retención acotada (por ejemplo, 365 días) si el crecimiento llegara a afectar el rendimiento. (e) Las mitigaciones para el sitio institucional a medida (validación y saneamiento de las entradas de los formularios PHP) se documentan en la sección correspondiente al despliegue del portal. (f) Se evaluó la activación de la autenticación de múltiples factores (MFA): el complemento oficial `tool_mfa` ya se encuentra instalado en la plataforma (versión 2023100900) y el factor de aplicación autenticadora (TOTP) está disponible y configurado con la ponderación necesaria para operar. No obstante, se decidió no activar el interruptor general de MFA en esta fase, priorizando la simplicidad del inicio de sesión (usuario y contraseña) para los aproximadamente 300 estudiantes, para quienes un segundo factor representaría una barrera de uso desproporcionada dado su perfil etario y el hecho de no contar con un correo institucional propio. El complemento queda instalado y disponible para que el administrador de la plataforma lo active a futuro según lo considere necesario, ya sea de forma general o restringido a los roles de administrador y docente mediante los factores de segmentación por rol que Moodle provee, sin afectar la experiencia de acceso de los estudiantes. (g) El límite de subida de archivos está configurado en 50 MB a nivel global de Nginx (directiva `client_max_body_size` en el archivo principal de configuración), un margen superior al mínimo de 5 MB requerido por `php.ini` y por la configuración de Moodle, por lo que esta capa queda verificada sin necesidad de ajustes adicionales. Como hallazgo adicional durante esta verificación, se detectó y corrigió la ausencia de la tarea de *cron* de Moodle (documentada en la sección de Operación programada), y se identificó como mejora pendiente migrar su ejecución del usuario `root` al usuario propietario de los archivos de la plataforma (`www`).

La verificación del cortafuegos sobre el servidor en producción confirma que el servicio se encuentra activo y que su política por omisión deniega toda conexión entrante no autorizada de forma explícita, de modo que la superficie expuesta corresponde únicamente al conjunto de reglas declaradas. El examen de ese conjunto, contrastado contra los servicios que efectivamente escuchan en el servidor, arrojó dos observaciones de distinto desenlace. La primera fue la presencia de reglas que autorizaban el protocolo de transferencia de archivos y su rango de puertos pasivos, pese a que no existía ningún servicio de ese tipo en ejecución ni cuenta alguna configurada: se trataba de reglas heredadas del perfil por omisión del panel, que ampliaban sin función la superficie declarada del cortafuegos. Verificada la ausencia de todo proceso asociado a esos puertos, las reglas fueron eliminadas durante esta misma comprobación, de modo que el hallazgo quedó corregido y no subsiste. La segunda observación permanece abierta: los puertos de administración del panel y de la herramienta de gestión de bases de datos admiten conexiones desde cualquier origen, y su exposición se encuentra mitigada por la ruta de acceso personalizada descrita más arriba y por las credenciales robustas del panel, pero no por una restricción de origen. Su corrección no se abordó en esta fase por la misma razón operativa que motivó la decisión sobre el acceso SSH: al existir un único responsable técnico y una sola vía de administración efectivamente disponible, una restricción por dirección de origen mal aplicada dejaría el servidor sin acceso administrativo, riesgo desproporcionado frente al beneficio marginal que aportaría

sobre las mitigaciones ya vigentes. El ajuste se traslada a las recomendaciones, condicionado a que se disponga previamente de una vía de acceso alternativa verificada.

La verificación se extendió a los servicios de datos, dado que su exposición constituye el riesgo de mayor impacto en una plataforma que administra información personal de estudiantes. El almacén de caché se encuentra correctamente enlazado a la interfaz de bucle local, de modo que resulta inalcanzable desde la red con independencia de la configuración del cortafuegos. El motor de base de datos, en cambio, escucha en todas las interfaces del servidor: su inaccesibilidad desde el exterior descansa únicamente en la política de denegación por omisión del cortafuegos, sin que exista una segunda barrera. Ninguno de los dos servicios necesita atender peticiones remotas, puesto que tanto el campus virtual como el sitio institucional se ejecutan en el mismo servidor y se conectan por la interfaz local, por lo que restringir la escucha del motor a esa interfaz eliminaría la dependencia de una única capa de protección. La medida se registra en las recomendaciones y no se aplicó en esta fase por la misma prudencia operativa que rige las decisiones anteriores: un cambio en la dirección de escucha del motor exige comprobar previamente que ningún componente de la plataforma resuelva su conexión por la dirección de red del servidor.

4.9.8 Esquema de monitoreo y observabilidad

El endurecimiento del servidor resulta insuficiente si no se acompaña de un mecanismo que permita advertir el deterioro del servicio antes de que se traduzca en una interrupción percibida por los usuarios. El esquema de monitoreo adoptado se apoya en el monitor de recursos integrado en aaPanel, que expone el uso de procesador, memoria, disco y tráfico de red del servidor, junto con el estado de los servicios de la pila, y que constituye la fuente de las mediciones de consumo reportadas durante las pruebas de carga (sección 5.4). A este monitor se suman la consola del proveedor, que informa el estado del servidor virtual y el consumo acumulado de transferencia frente al límite mensual contratado, y las bitácoras de Nginx, PHP-FPM y MySQL, que permiten el diagnóstico posterior de errores de aplicación.

El monitor expone de forma simultánea la carga promedio del sistema, el uso de procesador sobre los dos núcleos disponibles, la ocupación de memoria y de disco, el estado de los sitios y bases de datos alojados, las versiones de los componentes de la pila y el tráfico de red acumulado, además de series históricas de entrada/salida de disco, tráfico de red y uso de memoria de intercambio. Las lecturas obtenidas de este monitor sobre el servidor en producción se presentan en el capítulo de resultados (sección 5.3.8, Figuras 5.25 a 5.26).

La elección de este esquema, en lugar de una pila de observabilidad dedicada del tipo Prometheus con Grafana, responde al mismo criterio de proporcionalidad que ordena el resto de la arquitectura (sección 4.9.8). Una pila de esa naturaleza consumiría memoria y procesador del mismo nodo que pretende vigilar, en un servidor cuyo margen de memoria bajo carga concurrente es acotado,

e introduciría una superficie de administración adicional que excede la capacidad operativa declarada para la institución. El esquema adoptado, en cambio, no añade carga apreciable al servidor ni exige mantenimiento propio, y cubre las magnitudes que efectivamente condicionan el servicio.

Corresponde declarar con precisión el alcance de este esquema, porque de él dependen afirmaciones que este trabajo no está en condiciones de sostener. El monitoreo implementado es de naturaleza reactiva y por consulta: proporciona el estado del servidor en el momento en que el administrador lo revisa, pero no ejecuta comprobaciones periódicas automáticas desde el exterior ni emite alertas ante la caída de un servicio. En consecuencia, el proyecto no dispone de un registro continuo de disponibilidad que permita reportar un porcentaje de tiempo de actividad medido a lo largo del período de operación, y ninguna afirmación sobre disponibilidad sostenida se formula sobre esa base. La incorporación de un servicio externo de comprobación periódica con notificación automática, que sí permitiría instrumentar esa métrica, se plantea en las recomendaciones como línea de mejora de bajo costo y alto valor operativo.

4.10 Despliegue técnico: comandos y configuraciones de referencia

Las cinco fases descritas en la sección anterior exponen la lógica del despliegue; esta sección documenta su ejecución técnica verificable, con el propósito de que la implementación sea auditable por el tribunal y reproducible por otra institución del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe que desee replicarla. Cada tabla registra, para cada paso, el comando o la acción ejecutada, su descripción y el criterio de verificación aplicado.

Conviene precisar el origen de cada operación. El servidor fue provisionado por el proveedor con una imagen de Ubuntu Server 22.04 LTS que incorpora el panel aaPanel preinstalado, de modo que una parte de la pila (Nginx, MySQL, PHP y sus extensiones, certificados y tareas programadas) se instaló mediante el asistente gráfico del panel y no mediante invocación manual en la terminal. Para no atribuir al trabajo una ejecución por consola que no ocurrió, las tablas distinguen explícitamente ambas vías: se indica “*aaPanel*” cuando la operación se realizó desde el panel, y se consigna el comando equivalente, el que ejecuta internamente el panel o el que permitiría reproducir el mismo resultado en una instalación sin panel, como referencia técnica para la replicabilidad. Las rutas del sistema de archivos corresponden a la convención de aaPanel (/www/wwwroot/ para los sitios, /www/server/ para los servicios y /www/wwwlogs/ para las bitácoras), que difiere de la convención estándar de Debian/Ubuntu (/var/www/html/, /etc/nginx/, /etc/php/8.2/).

Por razones de seguridad, en todos los bloques que siguen las credenciales, claves y tokens se sustituyen por marcadores del tipo <CLAVE>; los valores reales no se reproducen en este documento, conforme al criterio declarado en la política de endurecimiento (sección 4.10.7).

4.10.1 Conexión inicial y preparación del sistema operativo

La Tabla 4.16 recoge las operaciones de acceso y actualización previas a cualquier instalación.

Tabla 4.16. Conexión inicial y preparación del sistema operativo.

Comando / acción	Descripción	Salida / verificación
ssh root@145.79.0.34	Acceso remoto al VPS mediante consola segura, con el usuario administrador provisto por el proveedor.	Sesión establecida; el <i>prompt</i> muestra el nombre de host srv1832290.
lsb_release -a	Verificación de la distribución y versión del sistema operativo aprovisionado.	Ubuntu 22.04.5 LTS (Jammy Jellyfish).
apt update && apt upgrade -y	Actualización del índice de paquetes y aplicación de las actualizaciones disponibles, incluidos los parches de seguridad.	Lista de paquetes actualizados sin errores; ausencia de paquetes retenidos.
timedatectl set-timezone America/Guayaquil	Ajuste de la zona horaria del servidor a la del Ecuador continental, condición necesaria para que las tareas programadas y las marcas de tiempo de Moodle sean coherentes con el calendario académico.	timedatectl reporta Time zone: America/Guayaquil (-05).
free -h y df -h	Verificación de los recursos efectivamente aprovisionados frente al plan contratado.	8 GB de memoria total y 100 GB de disco, conforme a la Tabla 4.8.
Acceso al panel: aaPanel (puerto personalizado)	Ingreso a la interfaz web de administración con las credenciales generadas en el primer arranque.	Panel accesible; se registra la versión 8.0.4.

Fuente: elaboración propia a partir de la bitácora de despliegue del proyecto.

4.10.2 Instalación de la pila LEMP

La pila se desplegó desde el asistente de instalación de aaPanel, seleccionando el modo *compilación rápida* con Nginx, MySQL y PHP. La Tabla 4.17 documenta cada componente con su comando equivalente.

4.10.3 Configuración del servidor web para el campus virtual

El sitio campus.uecibsf.edu.ec se creó desde el panel, que genera el archivo de configuración correspondiente y el enlace simbólico de activación. El bloque siguiente reproduce la estructura efectiva de la configuración del *virtual host*, con las directivas relevantes para Moodle: raíz del sitio, índice, entrega de archivos estáticos, paso de las peticiones PHP al *socket* de PHP-FPM, límite de tamaño de cuerpo de la petición y denegación de acceso al directorio de datos.

Tabla 4.17. Instalación de la pila LEMP (Nginx, MySQL, PHP).

Comando / acción	Descripción	Salida / verificación
<i>aaPanel</i> → <i>App Store</i> → Nginx 1.24 <i>Equivalente:</i> <code>apt install nginx -y</code>	Instalación del servidor web, seleccionado por su modelo de procesamiento asíncrono orientado a eventos.	<code>nginx -v</code> devuelve <code>nginx/1.24.0</code> ; el servicio arranca sin errores.
<i>aaPanel</i> → <i>App Store</i> → MySQL 8.0 <i>Equivalente:</i> <code>apt install mysql-server -y</code>	Instalación del motor de base de datos relacional soportado oficialmente por Moodle.	<code>mysql --version</code> devuelve la versión 8.0.45.
<code>mysql_secure_installation</code> (equivalente al asistente de seguridad de <i>aaPanel</i>)	Endurecimiento inicial del motor: definición de la contraseña del usuario administrador, eliminación de usuarios anónimos, deshabilitación del acceso remoto de root y eliminación de la base de datos de prueba.	Las cuatro opciones de endurecimiento se responden afirmativamente; el acceso remoto con root queda denegado.
<i>aaPanel</i> → <i>App Store</i> → PHP 8.2 <i>Equivalente:</i> <code>add-apt-repository ppa:ondrej/php</code> <code>apt install php8.2-fpm</code>	Instalación del entorno de ejecución en su versión 8.2, compatible con la rama LTS de Moodle desplegada.	<code>php -v</code> devuelve PHP 8.2.31; el servicio <code>php-fpm</code> queda activo.
<i>aaPanel</i> → PHP 8.2 → <i>Install extensions</i> <i>Equivalente:</i> <code>apt install php8.2-mysql php8.2-mbstring php8.2-xml php8.2-gd php8.2-curl php8.2-zip php8.2-intl php8.2-soap php8.2-opcache</code>	Instalación de las extensiones exigidas por el verificador de requisitos de Moodle.	El instalador de Moodle reporta todos los requisitos en estado OK; <code>php -m</code> lista las extensiones habilitadas.
<code>apt install git -y</code>	Instalación del sistema de control de versiones, empleado para el versionado del sitio institucional a medida y del paquete de idioma.	<code>git --version</code> responde correctamente.
<code>curl -sS https://getcomposer.org/installer php</code> ----- <code>install-dir=/usr/local/bin --filename=composer</code>	Instalación del gestor de dependencias de PHP, disponible para la gestión de complementos y utilidades de mantenimiento.	<code>composer -V</code> devuelve la versión instalada.

Fuente: elaboración propia a partir de la bitácora de despliegue del proyecto.

En una instalación sin panel, la activación del sitio y la recarga del servicio se realizarían mediante la secuencia siguiente:

En aaPanel, el panel ejecuta internamente esta secuencia al guardar la configuración del sitio; la validación se comprobó mediante la carga efectiva del campus en el navegador y la ausencia de entradas en la bitácora de errores del sitio (`/www/wwwlogs/campus.uecibsf.edu.ec.error.log`).

4.10.4 Ajuste de PHP y del gestor de procesos PHP-FPM

Los parámetros de PHP se ajustaron a los requisitos de Moodle y a la política de mitigación de almacenamiento definida en la etapa 5 del despliegue. La Tabla 4.18 recoge los valores establecidos y su justificación.

La medición que fundamenta el ajuste recomendado de `pm.max_children` se obtuvo por inspección directa de los procesos en ejecución, empleando la métrica de memoria proporcional (PSS) y no la residente (RSS), conforme al criterio metodológico declarado en la sección 4.9:

Tabla 4.18. Parámetros de PHP y del gestor de procesos ajustados en producción.

Directiva	Valor aplicado	Justificación y verificación
upload_max_filesize	5M	Política de mitigación de almacenamiento (etapa 5 del despliegue, literal A): evita la saturación del disco con archivos multimedia. Verificado en phpinfo() y en la administración de Moodle.
post_max_size	5M	Debe ser igual o mayor que upload_max_filesize para que el límite efectivo sea el declarado.
memory_limit	128M	Valor por defecto del perfil del panel. Se identifica como parámetro a monitorear: las copias de seguridad de cursos completos y los reportes extensos pueden requerir 256M o más.
max_execution_time	300	Margen suficiente para las operaciones largas de Moodle (respaldo, restauración e importación de cursos).
max_input_vars	5000	Requisito explícito de Moodle: los formularios de configuración y de calificaciones superan el valor por defecto de 1000. Verificado en producción.
pm	dynamic	Modo de gestión que ajusta el número de procesos según la demanda.
pm.max_children	100 (ajuste recomendado: 50)	Valor heredado del instalador del panel. La cota superior de demanda no la fija el consumo en reposo sino memory_limit: 100 procesos $\times$ 128 MB = 12.800 MB frente a los $\approx$ 6.514 MB disponibles para PHP una vez descontado el motor de base de datos. Se recomienda acotar a 50 procesos para que el gestor encole las peticiones excedentes en lugar de agotar la memoria (sección 5.3.10).
pm.start_servers	10	Procesos iniciales al arrancar el servicio.
pm.min_spare_servers	10	Mínimo de procesos en espera, para absorber picos sin latencia de arranque.
pm.max_spare_servers	30	Máximo de procesos ociosos mantenidos en memoria.

Fuente: elaboración propia a partir de la configuración vigente en producción.

Tras modificar los parámetros se recarga el servicio con `systemctl reload php8.2-fpm` (o `/etc/init.d/php-fpm-82 reload` en la convención de aaPanel), operación que aplica la nueva configuración sin cortar las peticiones en curso.

4.10.5 Despliegue de Moodle y permisos del sistema de archivos

Esta subsección documenta el procedimiento de instalación del LMS: la descarga del paquete de la rama con soporte a largo plazo, su despliegue en la raíz del sitio, la creación del directorio de datos fuera de la ruta web pública, la asignación de propiedad y permisos sobre los directorios de la aplicación y de datos, y la creación de la base de datos exclusiva con un usuario de privilegios limitados. El aislamiento de moodledata respecto de la ruta web pública responde a la condición de seguridad establecida por la documentación oficial [23]; la propiedad y los permisos efectivamente obtenidos sobre el sistema de archivos, así como la comprobación de dicho aislamiento, se reportan en el capítulo de resultados (sección 5.2). La Tabla 4.19 recoge cada operación con su criterio de verificación.

4.10.6 Almacén de caché en Redis

Moodle admite el uso de un almacén de caché externo para las sesiones y para las cachés de aplicación, lo que reduce la carga sobre la base de datos. La habilitación de esta capa comprende cuatro pasos encadenados, y conviene subrayar desde ahora que los tres primeros son de infraestructura mientras que el cuarto es de aplicación: instalar el servidor, habilitar el cliente

Tabla 4.19. Despliegue de Moodle y configuración de permisos.

Comando / acción	Descripción	Salida / verificación
wget https://download.moodle.org/download.php/direct/stable403/moodle-latest-403.tgz	Descarga del paquete de la rama con soporte a largo plazo (LTS) vigente.	Archivo descargado íntegro; se contrasta la suma de verificación publicada.
tar -xzf moodle-latest-403.tgz mv moodle/* /www/wwwroot/campus.uecibsf.edu.ec/	Descompresión y despliegue del código fuente en la raíz del sitio creado en el panel.	El directorio contiene index.php, admin/ y lang/.
mkdir -p /www/wwwroot/moodledata	Creación del directorio de datos fuera de la raíz web, de modo que no sea alcanzable por HTTP.	La ruta https://campus.uecibsf.edu.ec/moodledata/ devuelve error 404 (Figura 5.12).
chown -R www:www /www/wwwroot/campus.uecibsf.edu.ec /www/wwwroot/moodledata	Asignación de la propiedad al usuario del servidor web, requisito para que Moodle pueda escribir en su directorio de datos.	ls -l confirma el propietario; el instalador supera la verificación de permisos.
chmod -R 750 /www/wwwroot/moodledata	Restricción de permisos del directorio de datos: lectura y escritura solo para el propietario.	Sin acceso desde otros usuarios del sistema.
mysql -u root -p CREATE DATABASE moodle CHARACTER SET utf8mb4 COLLATE utf8mb4_unicode_ci; CREATE USER 'moodleuser'@'localhost' IDENTIFIED BY '<CLAVE>'; GRANT SELECT,INSERT,UPDATE,DELETE,CREATE,DROP,INDEX,ALTER ON moodle.* TO 'moodleuser'@'localhost';	Creación de la base de datos exclusiva con juego de caracteres utf8mb4, necesario para almacenar correctamente las cadenas en Kichwa, y de un usuario con privilegios limitados al esquema de Moodle, sin permisos administrativos globales.	SHOW GRANTS confirma el alcance restringido de los privilegios.
Asistente web de instalación de Moodle	Configuración de la conexión a la base de datos, la ruta de moodledata, la cuenta de administrador y los datos del sitio.	Instalación completada; Administración del sitio → Notificaciones sin advertencias críticas.
php admin/cli/install_database.php	Alternativa por consola al asistente web, disponible para una réplica desatendida del despliegue.	Esquema de base de datos creado sin errores.

Fuente: elaboración propia a partir de la bitácora de despliegue y de la documentación oficial de Moodle [23].

de PHP y declarar el almacén dentro de Moodle son operaciones distintas, y completar las dos primeras no implica que la tercera esté vigente. La Tabla 4.20 documenta el procedimiento, y la sección 5.3.7 reporta cuál de esos pasos quedó efectivamente aplicado sobre el servidor en producción.

Tabla 4.20. Instalación y habilitación de Redis como almacén de caché.

Comando / acción	Descripción	Salida / verificación
aaPanel → App Store → Redis Equivalente: apt install redis-server -y	Instalación del servidor de estructuras de datos en memoria.	redis-cli ping responde PONG; redis-server -v indica la versión 6.0.16.
aaPanel → PHP 8.2 → extensión redis Equivalente: pecl install redis	Habilitación del cliente de Redis para PHP, sin el cual Moodle no puede utilizar el almacén.	php -m grep redis lista la extensión.
Administración del sitio → Plugins → Caching → Configuration	Definición de la instancia de Redis como almacén y asignación de las definiciones de caché de aplicación y de sesión.	La página de configuración muestra la instancia en estado Ready.
Verificación directa del uso efectivo por Moodle	Comprobación de que la aplicación, y no solo el sistema, está utilizando el almacén.	Presencia de las directivas session_redis_* en config.php y relación entre aciertos y fallos de clave en redis-cli info stats.

Fuente: elaboración propia a partir de la bitácora de despliegue del proyecto.

El criterio de verificación de la última fila merece explicitarse, porque de él depende que la capa de caché pueda declararse operativa y no meramente instalada. Comprobar que el servicio

responde y que la extensión de PHP está cargada acredita únicamente que el componente existe en el servidor; para afirmar que Moodle lo utiliza es necesario constatar que la aplicación tiene declarado el almacén y que el espacio de claves del servidor refleja actividad atribuible a la plataforma. La declaración del almacén en el archivo de configuración de Moodle adopta la forma siguiente:

4.10.7 Certificados, transporte cifrado y tarea programada

La Tabla 4.21 agrupa la emisión de los certificados y la configuración de la tarea programada de Moodle, cuya ausencia inicial fue detectada y corregida durante la verificación descrita en la sección 4.10.7.

Tabla 4.21. Certificados SSL/TLS y tarea programada (cron) de Moodle.

Comando / acción	Descripción	Salida / verificación
<i>aaPanel</i> → sitio → SSL → <i>Let's Encrypt</i> <i>Equivalente:</i> <code>certbot --nginx -d campus.uecibsfa.edu.ec</code>	Emisión del certificado gratuito mediante validación por HTTP, para ambos sitios.	Certificado emitido; el panel registra la fecha de vencimiento y la renovación automática.
<i>aaPanel</i> → sitio → <i>Force HTTPS</i>	Redirección permanente (301) de todo el tráfico HTTP a HTTPS.	Una petición a <code>http://campus.uecibsfa.edu.ec</code> responde con código 301 hacia HTTPS.
Deshabilitación de TLS 1.1 en la configuración del sitio	Retiro del protocolo obsoleto, condición para alcanzar la calificación máxima en el análisis externo.	<code>openssl s_client -connect campus.uecibsfa.edu.ec:443 -tls1_1</code> falla; el análisis de Qualys SSL Labs otorga calificación A+ (Anexo F).
<code>openssl s_client -connect campus.uecibsfa.edu.ec:443 -servername campus.uecibsfa.edu.ec</code>	Verificación manual de la cadena de certificación y del protocolo negociado.	Cadena completa validada; protocolo negociado TLS 1.3.
<i>aaPanel</i> → Cron → <i>Shell Script</i> , periodicidad de 1 minuto <i>Equivalente:</i> <code>crontab -e</code> y la línea <code>*/* * * * * /usr/bin/php /www/wwwroot/campus.uecibsfa.edu.ec/admin/cli/cron.php > /dev/null</code>	Ejecución periódica de la tarea programada de Moodle, responsable de las notificaciones, las colas de procesamiento y el mantenimiento interno.	En <i>Servidor</i> → <i>Trabajos agendados</i> , las tareas internas muestran marcas de última ejecución recientes.
<i>Mejora pendiente:</i> <code>crontab -e -u www</code>	Migración de la ejecución del <i>cron</i> del usuario root al usuario propietario de los archivos, para evitar la creación de archivos temporales con permisos elevados dentro de moodledata.	Registrada en el listado de endurecimiento y en las recomendaciones.

Fuente: elaboración propia a partir de la bitácora de despliegue del proyecto.

4.10.8 RespalDOS automatizados y verificación final de los servicios

La Tabla 4.22 documenta el esquema de respaldo descrito en la etapa 5 del despliegue y el conjunto de comprobaciones con las que se cerró el despliegue.

Tabla 4.22. RespalDOS automatizados y verificación final de los servicios.

Comando / acción	Descripción	Salida / verificación
<i>aaPanel</i> → Cron → Backup database, diario a las 02:00 <i>Equivalente:</i> <code>mysqldump -u root -p moodle gzip > /respaldos/moodle-\$(date +%F).sql.gz</code>	Volcado comprimido de las bases de datos de Moodle y del portal institucional.	Archivo generado cada día; volumen medido de la base de datos del campus: 33 MB (sección 5.3.12).
<i>aaPanel</i> → Cron → Backup site <i>Equivalente:</i> <code>tar -czf /respaldos/moodledata-\$(date +%F).tar.gz /www/wwwroot/moodledata</code>	Empaquetado del código fuente de ambos sitios y del directorio de datos.	Volúmenes medidos: 425 MB de código de Moodle y 111 MB de moodledata, esto es, 569 MB por copia completa (sección 5.3.12).
Externalización desde el panel hacia almacenamiento en la nube <i>Equivalente:</i> <code>rclone copy /respaldos remoto:respaldos-uecibsf</code>	Transferencia del respaldo fuera del servidor, de modo que una falla total del VPS no comprometa la recuperación.	Los archivos aparecen en el destino remoto (Figura 5.31).
<i>Snapshot</i> semanal del proveedor	Respaldo primario de recuperación ante desastres, almacenado en infraestructura separada del VPS.	Tamaño registrado de 7,77 GB; restauración estimada en unos 30 minutos.
<code>systemctl status nginx</code> <code>systemctl status php8.2-fpm</code> <code>systemctl status mysql</code> <code>systemctl status redis-server</code> <code>systemctl status fail2ban</code>	Comprobación del estado de los cinco servicios críticos tras completar el despliegue.	Los cinco servicios reportan active (running) sin reinicios recientes ni errores en el diario del sistema.
<code>fail2ban-client status sshd</code>	Verificación de la jaula de protección contra intentos de acceso por fuerza bruta (5 intentos fallidos en 10 minutos activan un bloqueo de 1 hora).	Jaula activa y operando sobre la bitácora de autenticación del sistema; los bloqueos acumulados se reportan en la sección 5.3.13.
<code>systemctl status unattended-upgrades</code>	Comprobación del servicio de aplicación automática de parches de seguridad del sistema operativo.	Servicio activo y en ejecución.

Fuente: elaboración propia a partir de la bitácora de despliegue del proyecto.

4.11 Localización al Kichwa amazónico: proceso de construcción del paquete qvo

La habilitación de la interfaz bilingüe descrita en la etapa 4 del despliegue no consistió en instalar un paquete comunitario preexistente (inexistente para la variante amazónica requerida, conforme se fundamenta en la sección 3.7), sino en construir un paquete propio siguiendo un proceso metodológico de seis etapas. Esta subsección documenta dicho proceso, cuyo diagrama se presenta en la Figura 4.9.

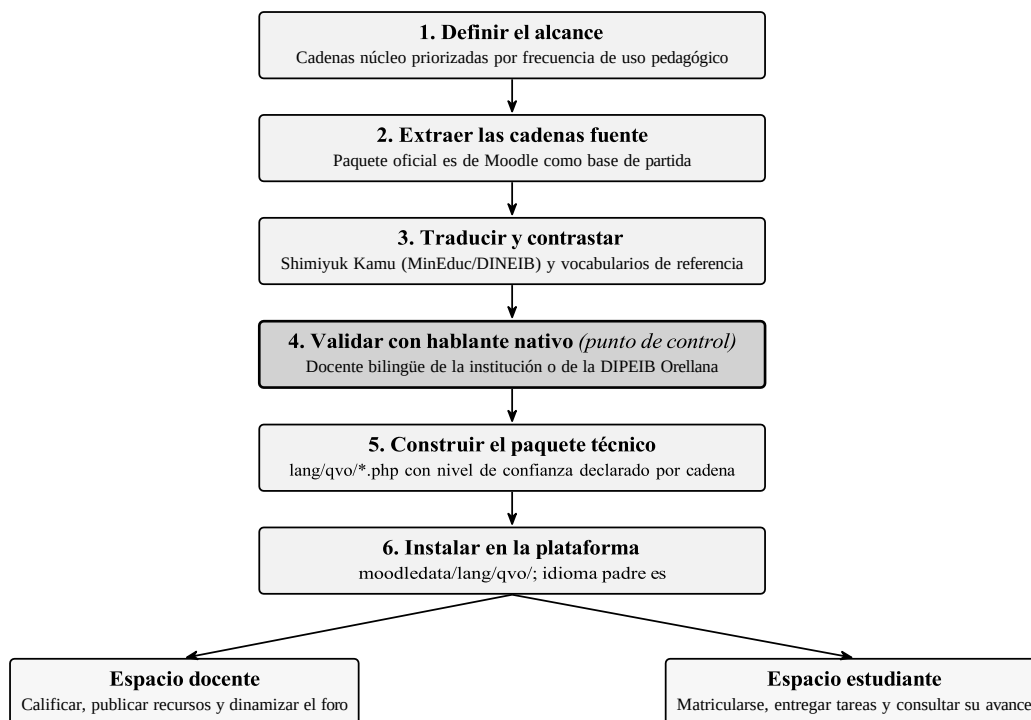


Figura 4.9. Proceso de construcción e implementación del paquete de idioma Kichwa amazónico (qvo).

Nota: la etapa 4 se resalta por constituir el punto de control que ninguna herramienta automática puede resolver.

Fuente: elaboración propia.

Etapa 1. Definición del alcance. Traducir la totalidad de Moodle supone del orden de 30 000 cadenas, volumen inabordable para un proyecto de titulación y, sobre todo, innecesario: la mayoría corresponde a funciones administrativas que el usuario final nunca visualiza. Se priorizaron, por tanto, las cadenas núcleo del archivo moodle.php (navegación general, acciones frecuentes y elementos comunes a todas las pantallas), con extensión prevista a assign.php, quiz.php, forum.php y grades.php en una fase posterior. El criterio de priorización fue la frecuencia de uso pedagógico real observada durante el diagnóstico.

Etapa 2. Extracción de las cadenas fuente. Se tomó como base de partida el paquete oficial en español de Moodle, dado que el español es la lengua de relación intercultural del MOSEIB y el idioma padre configurado para el paquete qvo. Trabajar desde el español, y no desde el inglés, reduce la distancia semántica de la traducción y asegura la coherencia terminológica con el resto de la interfaz.

Etapa 3. Traducción y contraste lexicográfico. Cada cadena se contrastó contra fuentes con respaldo institucional: el *Yachakukkunapa Shimiyuk Kamu* del Ministerio de Educación y la DINEIB, y vocabularios comparativos Castellano-Kichwa que permiten detectar divergencias entre las variantes de la Sierra y de la Amazonía. Este contraste es indispensable: buena parte del material lexicográfico disponible documenta el *kichwa unificado*, no la variante amazónica específica, de modo que una traducción tomada sin verificación podría resultar ajena para los usuarios de la institución.

Etapa 4. Validación con hablante nativo. Constituye el punto de control metodológico del proceso y, por su naturaleza, no puede delegarse en fuentes bibliográficas ni en herramientas automáticas: exige la revisión de un hablante nativo de la variante amazónica, previsiblemente un docente bilingüe de la propia institución o de la DIPEIB Orellana, con registro firmado o fotográfico como evidencia de validación comunitaria. A la fecha de este informe esta etapa se encuentra pendiente, condición que se declara expresamente en las limitaciones del estudio (sección 5.11) y que determina el estatus de las cadenas del nivel B descrito más adelante.

Etapa 5. Construcción del paquete técnico. El paquete se estructuró en dos archivos: *langconfig.php*, con los metadatos del idioma (denominación visible y declaración del idioma padre), y *moodle.php*, con las 73 cadenas núcleo organizadas en cuatro bloques temáticos (navegación general, espacio docente, espacio estudiante, e insignias y certificados). Cada cadena lleva declarado en el propio código su nivel de confianza, su fuente y los campos de validador y fecha, de modo que la trazabilidad académica reside en el artefacto y no en un documento externo que pueda desactualizarse.

Etapa 6. Instalación en la plataforma. El paquete se desplegó en *moodledata/lang/qvo/* y quedó disponible en el selector de idioma de la interfaz. Moodle resuelve automáticamente en español toda cadena no traducida, gracias a la declaración del idioma padre, de modo que la cobertura parcial no degrada la experiencia de uso.

4.11.1 Sistema de niveles de confianza y trazabilidad de las cadenas

Para que la ampliación del paquete resulte defendible ante un tribunal, y no un simple listado de palabras sin respaldo, cada una de las 73 cadenas se clasificó en uno de tres niveles de confianza, declarados como comentario en el propio código PHP. La Tabla 4.23 define los tres niveles y su estado actual.

Tabla 4.23. Sistema de niveles de confianza aplicado a las cadenas del paquete qvo.

Nivel	Cadenas	Definición	Condición pendiente
A	30	Traducción con fuente lexicográfica identificada (<i>Yachakukkunapa Shimiyuk Kamu</i> , DINEIB).	Confirmación del validador nativo y registro de la fecha.
B	14	Hipótesis de traducción por derivación morfológica de raíces ya presentes en el nivel A o por coincidencia con vocabulario kichwa unificado.	Verificación lexicográfica puntual y validación con hablante nativo. No deben citarse como equivalencias confirmadas.
C	29	Sin equivalente verificable localizado en las fuentes consultadas; la cadena se conserva en español.	Consulta directa con el hablante nativo o con lexicografía especializada.
Total	73	44 cadenas (60,3 %) con traducción propuesta; 29 (39,7 %) en español.	

Fuente: elaboración propia.

La existencia misma del nivel C merece una consideración metodológica. Buena parte del vocabulario técnico moderno de un entorno virtual, insignia, certificado, carpeta, enlace, video, carece de un término kichwa estandarizado y publicado. Antes que una carencia del proceso, esta situación constituye un resultado documentado del trabajo: evidencia empírica de las brechas léxicas que enfrenta la localización de software educativo en lenguas indígenas con recursos digitales limitados, y una agenda concreta de trabajo para la lexicografía kichwa aplicada al ámbito digital.

La Tabla 4.24 presenta una muestra representativa de la trazabilidad de las cadenas de los niveles A y B; el paquete completo, con las 73 cadenas y sus comentarios de trazabilidad, se adjunta como parte de la memoria técnica del proyecto.

Tabla 4.24. Muestra de la trazabilidad de las cadenas del paquete qvo por nivel de confianza.

Clave Moodle	Español	Kichwa (qvo)	Fuente o derivación	Nivel
course	Curso	Yachakuna	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
login	Ingresar	Yaykuna	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
logout	Salir	Llukshina	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
username	Nombre de usuario	Riksichik shuti	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
password	Contraseña	Pakalla shimi	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
teacher	Docente	Yachachik	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
students	Estudiantes	Yachakukkuna	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
assignment	Tarea	Ruray	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
grades	Calificaciones	Yachaykaykuna	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
forum	Foro	Tantanakuna	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
enrol	Matricularse	Killkarina	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
quiz	Cuestionario	Tapuykuna	Shimiyuk Kamu (DINEIB)	A
question	Pregunta	Tapuy	Derivada de quiz (nivel A)	B
reply	Responder	Kutichina	Derivada de feedback (nivel A)	B
group	Grupo	Tantachina	Derivada de forum (nivel A)	B
finish	Finalizar	Tukuchina	Derivada de deadline (nivel A)	B
help	Ayuda	Yanapay	Raíz <i>yanapana</i> , kichwa unificado	B
notification	Notificación	Willakuy	Raíz <i>willay</i> , kichwa unificado	B

Las columnas *validador* y *fecha* de todas las filas permanecen pendientes hasta completar la etapa 4 del proceso.

Fuente: elaboración propia.

4.12 Requerimientos desde la perspectiva del usuario: historias de usuario y *backlog*

De manera complementaria a la matriz de requerimientos funcionales y no funcionales (Tabla 4.5), que expresa las especificaciones en lenguaje técnico, los requerimientos se formularon también como historias de usuario, es decir, enunciados breves que describen una funcionalidad desde la perspectiva del rol que la necesita y del beneficio que obtiene. Esta doble formulación cumple dos propósitos: facilitar la validación de los requerimientos con los docentes de la institución, que no manejan terminología técnica, y ordenar la ejecución de la implementación por prioridad de valor pedagógico. La Tabla 4.25 recoge las diez historias de usuario definidas, con su prioridad y su criterio de aceptación.

Tabla 4.25. Historias de usuario del entorno virtual de aprendizaje.

ID	Rol	Historia de usuario	Criterio de aceptación	Prioridad
HU001	Administrador	Como administrador, quiero crear categorías de cursos por figura profesional para que la oferta académica quede organizada de forma comprensible.	Existen las categorías de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz, visibles en la página principal del campus.	Alta
HU002	Administrador	Como administrador, quiero crear cuentas de usuario con roles diferenciados para que cada persona acceda solo a lo que le corresponde.	Los roles de administrador, docente y estudiante existen y sus permisos difieren de forma verificable.	Alta
HU003	Administrador	Como administrador, quiero matricular estudiantes en sus cursos para que accedan únicamente a los contenidos de su nivel.	Un estudiante matriculado visualiza su curso; uno no matriculado recibe un mensaje de acceso denegado.	Alta
HU004	Docente	Como docente, quiero estructurar mi curso según las cuatro fases del MOSEIB para que la planificación digital refleje la guía de interaprendizaje que ya utilizo.	El curso presenta cuatro secciones nombradas conforme a las fases de dominio, aplicación, creación y socialización.	Alta
HU005	Docente	Como docente, quiero publicar recursos de tipo archivo, página y enlace para que los estudiantes accedan al material técnico fuera del aula.	El recurso publicado es visible y descargable por los estudiantes matriculados.	Alta
HU006	Docente	Como docente, quiero crear tareas con fecha de entrega para poder recibir y calificar los trabajos dentro de la plataforma.	La tarea acepta entregas hasta la fecha límite y permite registrar una calificación y una retroalimentación.	Alta
HU007	Docente	Como docente, quiero consultar el libro de calificaciones consolidado para dar seguimiento al avance de mi grupo sin recurrir a las actas físicas.	El informe de calificaciones muestra a todos los estudiantes del curso con sus notas por actividad.	Media
HU008	Estudiante	Como estudiante, quiero entregar mis tareas desde el teléfono para poder cumplir con los plazos sin depender del laboratorio de cómputo.	La entrega se completa correctamente desde un navegador móvil.	Alta
HU009	Estudiante	Como estudiante, quiero resolver cuestionarios y conocer mi resultado para autoevaluar mi comprensión de los contenidos.	El cuestionario se envía y el sistema muestra la calificación obtenida conforme a la configuración.	Media
HU010	Estudiante / Docente	Como usuario bilingüe, quiero cambiar la interfaz al Kichwa para navegar la plataforma en mi lengua.	El selector de idioma ofrece “Kichwa Amazónico” y su elección persiste entre sesiones.	Media

Fuente: elaboración propia a partir del diagnóstico y de la propuesta institucional.

La ejecución de las historias se organizó en un *backlog priorizado* bajo el criterio de valor pedagógico y dependencia técnica: las historias de prioridad alta corresponden al recorrido mínimo indispensable para que un curso funcione (organizar, matricular, publicar, entregar); las de prioridad media aportan funcionalidades de seguimiento y de pertinencia cultural que dependen de las anteriores; y las de prioridad baja se difirieron a fases posteriores. La Figura 4.10

representa el estado del tablero de trabajo al cierre de la implementación, en el que la totalidad de las historias comprometidas alcanzó la columna de finalizadas, y la Tabla 4.26 muestra cómo se desplazaron entre columnas en los tres cortes mensuales del período.

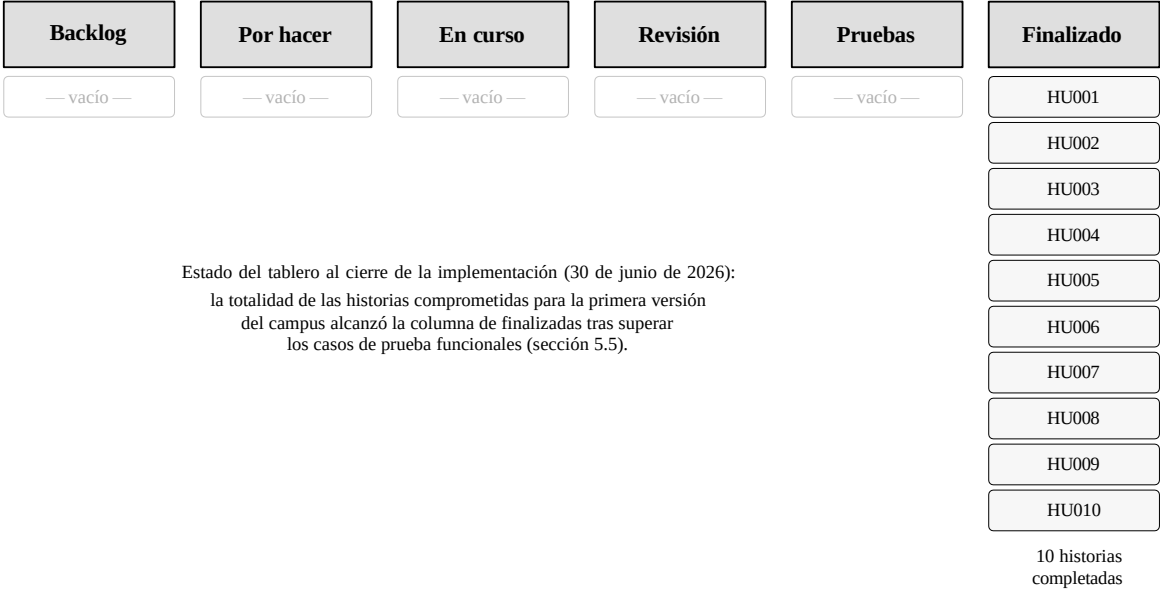


Figura 4.10. Tablero de trabajo (Kanban) de las historias de usuario al cierre de la implementación.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.26. Evolución mensual del backlog durante la implementación.

Corte mensual	Backlog	En curso	En pruebas	Finalizadas
30 de abril de 2026 (cierre del diseño)	10	0	0	0
31 de mayo de 2026 (fases 1–3 concluidas)	4	3	3	3
30 de junio de 2026 (fases 4–5 concluidas)	0	0	0	10

Fuente: elaboración propia.

4.13 Diseño de las pruebas de funcionamiento

El plan de pruebas del capítulo de resultados verifica cuatro aspectos críticos (carga, respaldo/restauración, correo saliente y transporte seguro) contra umbrales cuantitativos definidos a priori desde el dimensionamiento. Para la prueba de carga con Apache JMeter conviene precisar el diseño y sus supuestos:

- Equivalencia hilo-usuario y estrategia de simulación. Un hilo de JMeter no equivale automáticamente a un usuario real: el factor determinante es la presencia o ausencia de *tiempos de reflexión* (*think times*) entre peticiones. Dado que la plataforma se encontraba en uso académico real al momento de la prueba, se optó deliberadamente por una simulación de comportamiento realista en lugar de un escenario extremo sin *think times*: se configuró un *Uniform Random Timer* con retardo base de 3000 ms y desviación aleatoria de 2000 ms, es decir, pausas variables de 3 a 5 segundos entre transacciones, coherentes con los tiempos observados de lectura de contenidos (2–5 s), navegación entre secciones (1–3 s) y envío de tareas (3–7 s). Esta decisión alinea la prueba con el patrón de carga que el servidor experimenta efectivamente en operación académica, y con las directrices de rendimiento de la comunidad Moodle, en lugar de medir un peor caso teórico que no se corresponde con el uso documentado; la contrapartida es que los resultados deben interpretarse como representativos del uso real y no como cota superior absoluta.
- Parámetros del plan. La prueba se ejecutó con Apache JMeter 5.6.2 sobre campus. uecibsf.edu.ec (HTTPS, TLS 1.2/1.3), mediante un *Thread Group* de 60 hilos con rampa de subida de 60 segundos (un usuario por segundo) y una iteración por hilo, de modo que cada usuario simulado completa una sesión íntegra (inicio de sesión, acceso al curso, visualización de contenidos, consulta de calificaciones y cierre de sesión) y finaliza. Se emplearon 60 cuentas de prueba dedicadas provistas mediante un *CSV Data Set Config* (archivo usuarios.csv, una credencial por hilo) para evitar colisiones de sesión. La caché de Moodle se encontraba precalentada al inicio de la ejecución, condición coherente con un servidor en operación real y no recién reiniciado. Las métricas se tomaron del reporte Summary/Aggregate (promedio, percentil 95 y porcentaje de errores) con captura simultánea del monitor de recursos del panel.
- Entorno de ejecución. Las pruebas se ejecutaron sobre el entorno de producción en horario de baja actividad real, decisión justificada por la inexistencia de un entorno de *staging* equivalente (el proyecto opera con un único VPS por su modelo de costos), por el bajo riesgo del flujo probado y por la disponibilidad de respaldos diarios y restauración verificada como salvaguarda; la ejecución en horario valle minimizó la afectación a usuarios reales y la contaminación de las mediciones.

Los parámetros anteriores, 60 hilos, rampa de 60 s, una iteración por hilo, *think times* uniformes de 3 a 5 s, 60 cuentas de prueba desde usuarios.csv y caché precalentada, corresponden al plan de prueba efectivamente ejecutado y son suficientes para la réplica exacta del escenario.

4.14 Protocolo de auditoría técnica de la infraestructura Cloud

Las pruebas de funcionamiento descritas en el apartado anterior responden a la pregunta de si la plataforma soporta la carga proyectada, pero no describen el estado del entorno que la sostiene. Para documentar la capa Cloud como objeto de estudio en sí mismo, y no solo como soporte implícito de Moodle, se definió un protocolo de auditoría técnica ejecutado sobre el servidor de producción, cuyos resultados se reportan de forma diferenciada en la sección 5.3. El protocolo se rige por tres decisiones metodológicas que conviene declarar antes de exponer sus resultados, porque condicionan cómo deben leerse.

Primera decisión: separación de las dos instalaciones sucesivas de la plataforma. Entre la etapa piloto y el año lectivo vigente la plataforma fue reinstalada desde cero, decisión institucional adoptada para iniciar el nuevo período académico con una estructura de cursos correspondiente a la oferta actualizada. Ello determina que existan dos conjuntos de datos con orígenes distintos y no comparables entre sí. La **Instalación I (piloto)** corresponde a la primera puesta en servicio y aporta los indicadores de adopción y uso pedagógico (usuarios, entregas, intentos de cuestionario, mensajes de foro, prueba de carga con 60 usuarios concurrentes), medidos en su momento sobre esa instalación y reportados en las secciones 5.7 y 5.4. La **Instalación II (vigente)** corresponde a la instalación en operación y aporta los indicadores de infraestructura (servidor, sistema operativo, servicios, motor de base de datos, seguridad, respaldos y transporte cifrado), que son propiedades del entorno y no dependen del contenido pedagógico que Moodle tenga cargado en un momento dado. En consecuencia, ningún indicador de una fase se contrasta contra el de la otra, y allí donde ambas respaldan un mismo principio arquitectónico se declara expresamente que lo hacen por separado y no como relación de causa y efecto de un mismo evento.

Segunda decisión: clasificación del estatuto de cada dato. Todo valor reportado en la sección de resultados de Cloud Computing se etiqueta en una de tres categorías. Un dato *medido* se obtiene por instrumentación directa sobre el servidor (consulta al sistema operativo, al motor de base de datos o al servicio correspondiente). Un dato *configurado* es un valor declarado en un archivo de configuración, que expresa lo que el sistema permitiría y no lo que efectivamente ocurre. Un dato *proyectado* es un cálculo derivado de los anteriores y no una observación. La distinción no es formal: buena parte de los errores de interpretación en informes de infraestructura provienen de presentar como comportamiento observado lo que solo es un techo configurado, o de proyectar un escenario sin advertir que no llegó a producirse.

Tercera decisión: instrumentación por capas. La auditoría no recorre servicios sueltos, sino las cinco capas que componen la solución, de modo que cada afirmación quede anclada a la

capa que le corresponde y a la herramienta con la que se obtuvo. La Figura 4.11 organiza esa correspondencia entre capa, instrumento de medición y evidencia producida.

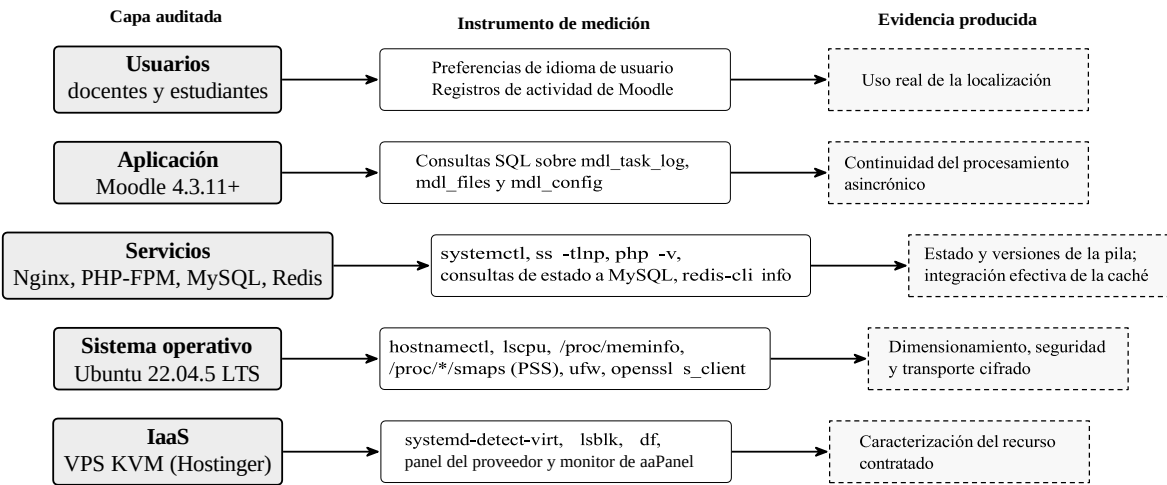


Figura 4.11. Protocolo de auditoría técnica de la infraestructura Cloud.

Nota: el esquema relaciona cada capa auditada con el instrumento de medición empleado y con la evidencia que produce.
Fuente: elaboración propia.

La auditoría se ejecutó el 14 de agosto de 2026 sobre el servidor de producción campus. uecibsf.edu.ec, mediante acceso por consola segura, consultas directas al motor de base de datos, verificación del transporte cifrado con openssl y curl, y lectura del monitor histórico del panel de administración. Las salidas completas de cada comando, sin edición, se conservan como respaldo de verificabilidad y se incorporan en el Anexo H, de modo que cualquier valor citado en los resultados pueda rastrearse hasta la salida que lo originó. La Tabla 4.27 detalla, para cada dimensión auditada, el procedimiento aplicado y la categoría del dato que produce.

Corresponde señalar, por último, qué queda fuera del alcance de este protocolo. La auditoría documenta el estado del entorno en un corte temporal y su historial acumulado hasta esa fecha, pero no constituye una medición continua de disponibilidad, cuya ausencia ya se declaró al describir el esquema de monitoreo (sección 4.10.8). Tampoco comprende la ejecución de un escalamiento de recursos ni pruebas de conmutación por error, por las razones que se exponen en las secciones 5.3.11 y 5.3.12. Declarar estos límites forma parte del protocolo tanto como los procedimientos que sí lo integran.

4.15 Cronograma y presupuesto del proyecto

La Tabla 4.28 presenta el cronograma de ejecución del proyecto de titulación, anclado en las fechas reales documentadas en este trabajo; la Tabla 4.29 resume el presupuesto del proyecto. El cronograma verifica el cumplimiento del criterio metodológico de maduración mínima de cuatro semanas de uso académico real antes de la evaluación de usabilidad: entre el inicio de operación de la plataforma (6 de junio de 2026) y el inicio de la aplicación de la Escala SUS (6

Tabla 4.27. Dimensiones de la auditoría técnica, procedimiento de obtención y categoría del dato resultante.

Dimensión auditada	Procedimiento de obtención	Categoría del dato
Recurso contratado (IaaS)	Detección de la tecnología de virtualización, inventario de procesador, memoria y almacenamiento, y contraste contra las especificaciones declaradas por el proveedor.	Medido
Estabilidad del sistema operativo	Lectura de la marca del último arranque y del tiempo de operación acumulado sin reinicios.	Medido
Estado de la pila de servicios	Consulta del gestor de servicios del sistema, versiones exactas de cada componente, conteo de procesos por servicio y puertos a la escucha.	Medido
Consumo de recursos	Lectura de la carga promedio, de la ocupación de memoria y disco, y de las series históricas de treinta días del monitor del panel.	Medido
Reparto de memoria por servicio	Suma de la memoria proporcional (PSS) de los procesos de cada servicio, métrica que evita contabilizar varias veces las páginas compartidas.	Medido
Techo de capacidad del gestor de procesos	Lectura de las directivas del <i>pool</i> y del límite de memoria por petición, y cálculo de la demanda máxima que ambas permiten.	Configurado y proyectado
Motor de base de datos	Consulta de las variables de configuración y de los contadores acumulados de operación (tamaño, <i>buffer pool</i> , aciertos de caché, conexiones, consultas lentas).	Medido y configurado
Procesamiento asincrónico	Conteo de ejecuciones y de fallos registrados por la tarea programada de Moodle en su bitácora interna.	Medido
Seguridad por capas	Verificación del cortafuegos y de sus reglas, del servicio de bloqueo por fuerza bruta, de la configuración de acceso remoto, de los permisos del directorio de datos, de los privilegios del usuario de base de datos y de los protocolos y cabeceras del transporte cifrado.	Medido y configurado
Sostenibilidad del respaldo	Medición del volumen real de cada componente a respaldar, del contenido y la retención observada del directorio de copias, y cálculo de la ocupación resultante sobre la cuota de destino.	Medido y proyectado

Fuente: elaboración propia.

de julio de 2026) transcurrieron 30 días naturales (4 semanas y 2 días), superando el umbral de 28 días exigido por el criterio de inclusión declarado en la sección 4.3.

El financiamiento íntegro de los rubros de infraestructura (adquisición del VPS Hostinger KVM 2 y del dominio institucional uecibsf.edu.ec) fue cubierto por la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe “San Francisco de Asís” a través de su Comité Central, instancia que autorizó formalmente la implementación del Entorno Virtual de Aprendizaje y asumió el compromiso institucional de sostenibilidad económica de la plataforma. La administración de los accesos principales del sistema (servidor VPS, panel de control, dominio institucional y cuentas de adquisición del hosting) está a cargo del Ing. Damián Pinza, Mgtr., Coordinador de Bachillerato Técnico de la institución.

El desembolso monetario directo del primer año ascendió a 182,78 USD (VPS, dominio y movilización), según las facturas de los proveedores (Anexo G). El recurso humano del autor se

Tabla 4.28. Cronograma de ejecución del proyecto.

Etapa / hito	Período o fecha
Visitas de observación institucional	9, 10 y 13 de abril de 2026
Encuesta diagnóstica (censo, n=38)	Hasta el 15 de abril de 2026
Diseño de la arquitectura y de la estructura de cursos	Abril–mayo de 2026
Aprobación institucional de la implementación	20 de mayo de 2026
Implementación (Fases 1–5: servidor, DNS, portal, campus, políticas)	Mayo–junio de 2026
Inicio del uso académico real de la plataforma	6 de junio de 2026
Respaldo diario automatizado en operación	Desde el 10 de junio de 2026
Carta de aval institucional de la implementación	15 de junio de 2026
Prueba de restauración controlada	1 de julio de 2026
Aplicación de la Escala SUS (censo, n=38)	6 al 10 de julio de 2026
Prueba de carga con Apache JMeter (60 usuarios concurrentes)	27 al 31 de julio de 2026
Redacción y revisión del informe; aval del tutor	1 al 7 de agosto de 2026
Entrega final y sustentación	15 de agosto de 2026 (según calendario de la UTC)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.29. Presupuesto del proyecto de titulación.

Rubro	Monto (USD)	Observación
VPS Hostinger KVM 2 (primer año)	117,48	Según factura del proveedor (Anexo G)
Dominio uecibsf.edu.ec (NIC.ec)	48,30	Según factura del proveedor (Anexo G)
Software (SO, panel, LMS, CMS, certificados)	0,00	Pila de código abierto / gratuita
Movilización (pasajes Latacunga–Loreto y Loreto–San Francisco de Asís)	17,00	Traslados a la institución
Total desembolsado (primer año)	182,78	Suma de los rubros con desembolso monetario
Recurso humano del autor (160 h × 5,00 USD/h)	800,00	Valorizado; no representa desembolso monetario

Fuente: elaboración propia a partir de los comprobantes de pago (Anexo G).

valoriza en 800,00 USD (160 horas de diseño, implementación, carga de contenidos, capacitación y administración, a una tarifa referencial de 5,00 USD/h acorde con el contexto local), rubro que no representó desembolso monetario y que se declara para no subestimar el costo real del modelo de autogestión frente a alternativas administradas.

4.16 Matriz de riesgos del proyecto

La Tabla 4.30 consolida los principales riesgos técnicos, operativos y de adopción identificados para la plataforma, con su valoración cualitativa y las mitigaciones definidas.

Tabla 4.30. Matriz de riesgos del proyecto.

ID	Riesgo	Prob.	Impacto	Mitigación
R1	Falla del VPS único (punto único de fallo): indisponibilidad total de portal y campus.	Media	Alto	Respaldos diarios externalizados; restauración ensayada (RTO observado <15 min tras decisión de restaurar); evaluar monitoreo externo de disponibilidad y, a futuro, redundancia.
R2	Saturación del almacenamiento externo de respaldos por efecto de la política de retención: 7 copias completas ocupan 3,89 GB (25,9 % de la cuota gratuita de 15 GB), pero 30 copias alcanzan 16,67 GB (111 %).	Media	Alto	Acotar el número de copias conservadas, mantener la compresión y revisar la proyección conforme crezca moodledata; véase la sección 5.3.12.
R3	Superación del límite diario de la pasarela SMTP gratuita en eventos masivos (matrícula de 240 estudiantes).	Media	Medio	Escalonar creación de cuentas y envíos; monitorear cuota; plan de contingencia con nivel de pago del servicio.
R4	Compromiso de seguridad vía el sitio institucional (p. ej., inyección SQL en sus formularios PHP) u otros vectores del mismo VPS (contaminación lateral hacia el campus).	Media	Alto	Política de endurecimiento (sección 4.10.7): parches, fail2ban/WAF, protección de accesos, MFA en cuentas administrativas.
R5	Dependencia de un único administrador técnico tras la graduación del autor.	Alta	Alto	Institucionalizar la administración (dos responsables capacitados), empleando como material de formación el procedimiento documentado en la sección 4.11; ver recomendaciones.
R6	Baja adopción de la plataforma por parte de docentes o estudiantes.	Media	Alto	Inducción inicial; formación docente continua; monitoreo de métricas de adopción (sección 5.7) con acciones correctivas.
R7	Vencimiento o falla de renovación de certificados SSL o del dominio.	Baja	Alto	Renovación automática de Let's Encrypt verificada; calendario institucional de renovación del dominio ante NIC.ec.
R8	Incumplimiento de obligaciones LOPDP en el tratamiento de datos de menores (incluidos respaldos).	Media	Alto	Esquema de consentimiento/asentimiento (sección 4.7); registro de actividades de tratamiento; cifrado y control de acceso de respaldos.
R9	Crecimiento de la matrícula o del uso por encima del dimensionamiento.	Baja	Medio	Escalabilidad vertical del VPS; umbral de ampliación (uso sostenido >60 %) definido en las recomendaciones.
R10	Dependencia del proveedor IaaS (lock-in) o cambios de precios en la renovación.	Media	Medio	Pila estándar portable (LEMP + Moodle y el sitio institucional a medida); respaldos completos que permiten migración; presupuestar el precio de renovación (no el promocional).

Fuente: elaboración propia.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Resultados del diagnóstico (línea base)

La aplicación de la ficha de observación durante las visitas a la UECIB San Francisco de Asís permitió constatar la situación que fundamentó el proyecto: la institución no disponía de un entorno virtual de aprendizaje ni de servicios digitales institucionales propios (dominio, portal o campus), y la gestión de las actividades académicas fuera del aula se realizaba mediante herramientas de comunicación de uso general, no diseñadas para fines educativos. Esta condición coincide con la problemática formalizada ante el Rectorado de la propia unidad educativa y constituye la justificación directa del alcance de la propuesta. La Tabla 5.1 registra los hallazgos por dimensión observada.

Tabla 5.1. Resultados de la ficha de observación institucional.

Dimensión observada	Hallazgo registrado
Equipamiento tecnológico disponible	Laboratorio de cómputo con 25 equipos de escritorio HP ProDesk 400 G6 (Intel Core i5-10500, 8 GB de RAM, disco de 1 TB) con Windows 10 Pro, más 5 computadoras portátiles asignadas a docentes. Sin servidores locales ni red cableada estructurada; la infraestructura de red institucional se limita al enlace de internet y a la cobertura Wi-Fi descritas en la dimensión de conectividad.
Conectividad institucional	Enlace de fibra óptica de CNT con velocidad nominal de 100 Mbps simétricos; velocidades reales medidas de 85–92 Mbps de descarga y 78–85 Mbps de subida, con latencia de 15–20 ms hacia servidores nacionales. Red Wi-Fi con cobertura en aulas principales y laboratorio, con zonas de baja intensidad en los extremos del edificio; sin red cableada estructurada.
Prácticas de gestión académica	Uso predominante de mensajería instantánea (WhatsApp) y correo electrónico personal para comunicar tareas, enviar materiales y recibir trabajos. Sin repositorio centralizado de contenidos ni sistema de seguimiento de calificaciones fuera de las actas físicas; evaluaciones exclusivamente presenciales y retroalimentación verbal o escrita sobre los trabajos físicos.
Servicios digitales institucionales	Inexistentes al inicio del proyecto: sin dominio propio, portal web ni plataforma de aprendizaje virtual; la comunicación con la comunidad educativa se realizaba mediante redes sociales y carteleras físicas.

Fuente: elaboración propia a partir de la ficha de observación aplicada los días 9, 10 y 13 de abril de 2026 (Anexo A).

La encuesta diagnóstica (sección con ficha técnica en la Tabla 4.4) estableció la línea base de acceso a tecnología, competencias digitales y disposición hacia el EVA de docentes y estudiantes. La Tabla 5.2 presenta la matriz de indicadores; la Figura 5.1 muestra su representación gráfica.

Los resultados de la encuesta evidencian condiciones favorables para la implementación del EVA, aunque con brechas relevantes entre los dos grupos. En cuanto al acceso, la totalidad de los docentes (8 de 8) y el 70 % de los estudiantes (21 de 30) disponen de conexión a internet fuera de la institución; el 30 % restante de los estudiantes depende exclusivamente de la conectividad

Tabla 5.2. Resultados de la encuesta diagnóstica por indicador.

Indicador	Docentes ($n = 8$)	Estudiantes ($n = 3$)
Acceso a internet fuera de la institución (%)	100,0 %	70,0 %
Dispositivo principal de acceso (categoría predominante)	Computadora portátil (7 de 8)	Teléfono inteligente (18 de 30)
Autovaloración de competencias digitales (promedio Likert 1–5)	4,73	3,97
Disposición al uso de un EVA (%)	100,0 %	80,0 %
Preferencia por interfaz bilingüe Kichwa-Español (%)	87,5 %	90,0 %

Nota: docentes $n = 8$; estudiantes $n = 30$ (censo, $N = 38$). Los porcentajes se calculan sobre el total de cada grupo. El indicador de competencias digitales corresponde al promedio de los cinco ítems de autovaloración (navegador web, correo electrónico, ofimática, plataformas educativas y gestión de archivos) en escala de Likert de 1 a 5. La disposición al uso del EVA agrupa las respuestas de acuerdo y totalmente de acuerdo (valores 4 y 5).

Fuente: elaboración propia a partir de la tabulación de la encuesta diagnóstica (Anexo A).

institucional, dato que fundamentó la decisión de trabajar con plazos abiertos en lugar de actividades sincrónicas. El dispositivo principal difiere, además, de manera sustantiva entre ambos grupos: mientras los docentes acceden mayoritariamente desde computadoras portátiles (7 de 8), los estudiantes lo hacen predominantemente desde teléfonos inteligentes (18 de 30), seguidos de computadoras portátiles (8), de escritorio (2), tableta (1) y un caso sin dispositivo propio. Este hallazgo confirmó dos decisiones de diseño: la adopción del modelo asíncrono de plazos abiertos, que tolera ventanas de conectividad intermitente, y la exigencia de que el campus operara con un tema gráfico adaptable a pantallas móviles (RNF4).

En el plano de las competencias digitales, los docentes registraron un promedio de 4,73/5 y los estudiantes de 3,97/5, una brecha de 0,76 puntos coherente con la diferencia generacional y de exposición profesional a herramientas informáticas. El desglose por ítem (Tabla 5.3) precisa dónde se concentra esa brecha: en ambos grupos el valor más bajo corresponde al uso de plataformas educativas (4,00 en docentes y 3,43 en estudiantes), lo que era esperable en una institución que nunca había operado un LMS, mientras que los valores más altos se registran en el uso del navegador web (5,00 y 4,20). Este patrón anticipó la necesidad de una interfaz simple y de una inducción inicial breve y práctica, antes que de capacitaciones extensas en ofimática o navegación.

Tabla 5.3. Autovaloración de competencias digitales por ítem (escala de Likert de 1 a 5).

Competencia autovalorada	Docentes ($n = 8$)		Estudiantes ($n = 30$)	
	Media	Desv.	Media	Desv.
Uso del navegador web	5,00	0,00	4,20	0,92
Uso del correo electrónico	5,00	0,00	4,00	0,83
Herramientas ofimáticas	4,88	0,35	3,80	0,92
Uso de plataformas educativas	4,00	0,00	3,43	0,90
Gestión de archivos digitales	4,75	0,46	4,40	0,50
Promedio general	4,73	—	3,97	—

Fuente: elaboración propia a partir de la tabulación de la encuesta diagnóstica (Anexo A).

Finalmente, los indicadores actitudinales resultaron decisivos para la orientación intercultural del proyecto. La disposición al uso de un EVA alcanzó el 100 % en docentes (8 de 8, todos con valoraciones de 4 o 5) y el 80 % en estudiantes (24 de 30); el 20 % restante se distribuye en tres estudiantes con valoración neutra y tres con valoración desfavorable, proporción que la implementación asumió como resistencia inicial esperable y que se contrastó posteriormente con las métricas de adopción. La preferencia por una interfaz bilingüe Kichwa-Español fue del 87,5 % en docentes (7 de 8) y del 90 % en estudiantes (27 de 30); solo dos estudiantes declararon preferir exclusivamente el español y uno se manifestó indiferente. Este resultado, prácticamente unánime en ambos grupos, valida empíricamente la configuración multilingüe de la plataforma y su alineación con el pilar de la lengua del MOSEIB, y constituye el fundamento de la decisión de construir el paquete de idioma qvo descrito en la sección 4.12.

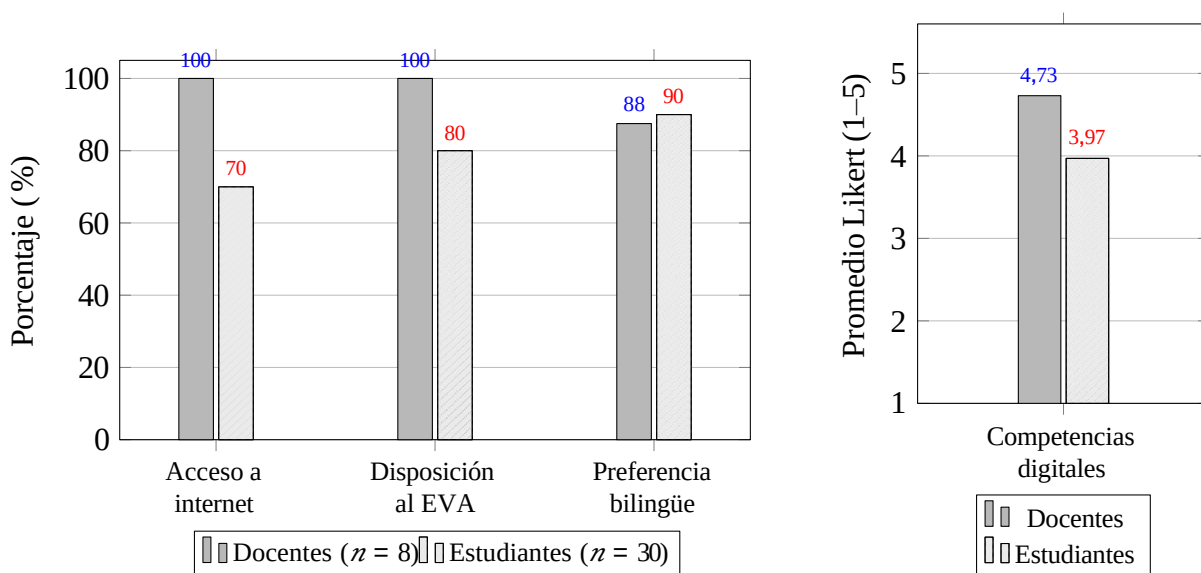


Figura 5.1. Resultados del diagnóstico de línea base, docentes frente a estudiantes.

Nota: (a) indicadores porcentuales; (b) autovaloración de competencias digitales en escala de Likert de 1 a 5.

Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 5.2.

El desglose por ítem de la autovaloración de competencias digitales (Figura 5.2) permite localizar con precisión la brecha entre ambos grupos y comprobar que esta no es uniforme: se estrecha en la gestión de archivos digitales (diferencia de 0,35 puntos) y se amplía en las herramientas ofimáticas (1,08 puntos), mientras que el ítem de plataformas educativas es el más bajo de ambos perfiles.

La distribución del dispositivo principal de acceso y de la disposición al uso del entorno virtual (Figura 5.3) completa el perfil de la línea base y sustenta dos decisiones documentadas en la metodología: la exigencia de adaptabilidad móvil, derivada del predominio del teléfono inteligente entre los estudiantes, y la previsión de una inducción inicial dirigida al segmento con disposición neutra o desfavorable.

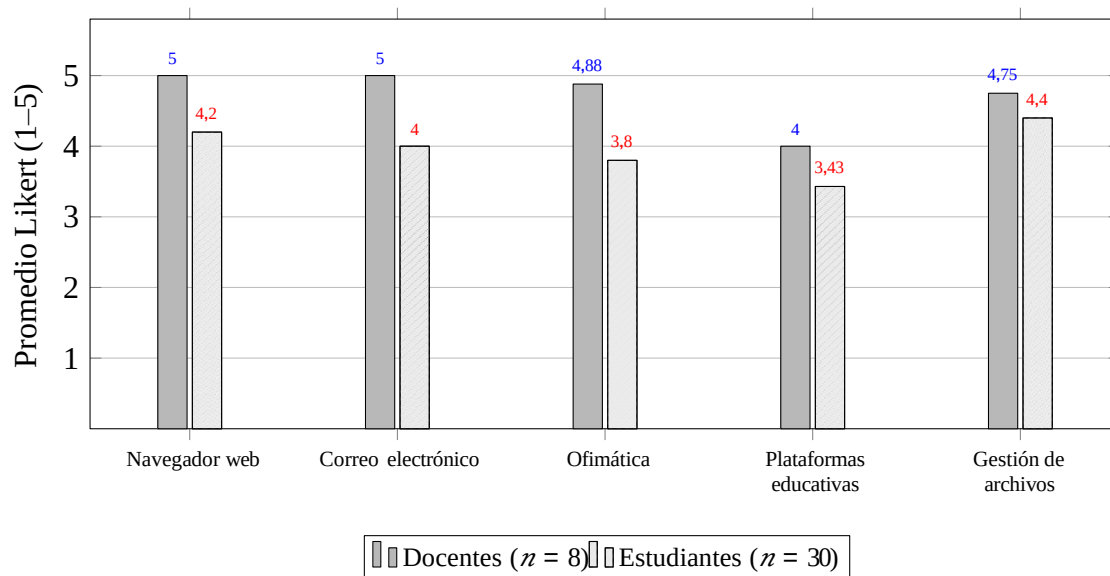


Figura 5.2. Autovaloración de competencias digitales por ítem, docentes frente a estudiantes.

Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 5.3.

Del análisis conjunto de la observación, la encuesta y la revisión documental se derivaron las necesidades que orientaron el diseño: (a) disponer de un espacio centralizado y permanente para contenidos, tareas y evaluaciones, accesible fuera del horario presencial; (b) que la solución operara con requerimientos moderados de conectividad, acorde con el modelo asíncrono de plazos abiertos; (c) que la interfaz y la estructura pedagógica respondieran al contexto intercultural bilingüe (interfaz Kichwa-Español y fases del MOSEIB); y (d) que el modelo de costos fuera sostenible por autogestión, sin licenciamientos recurrentes. Estas necesidades se corresponden una a una con las decisiones de arquitectura y configuración documentadas en el capítulo de Métodos y Procedimientos.

5.2 Resultados de la instalación y configuración de la plataforma

Como resultado de la ejecución de las cinco fases descritas en la sección anterior, se obtuvo una infraestructura digital institucional plenamente operativa, compuesta por tres componentes verificables en producción.

5.2.1 Servidor y panel de administración

El VPS KVM 2 quedó operativo con Ubuntu Server 22.04 LTS y el panel aaPanel administrando la pila LEMP (Nginx, MySQL 8.0, PHP 8.2). El panel permite la gestión visual de los sitios, las bases de datos, los certificados SSL y las tareas programadas de respaldo, sin costos de licenciamiento. La Figura 5.4 corresponde al panel una vez completada la etapa 1 del despliegue, con la pila ya instalada, y la Figura 5.5 al servidor en operación, con los tres sitios publicados y las bases de datos en servicio. El comportamiento de los recursos del servidor y su contraste contra

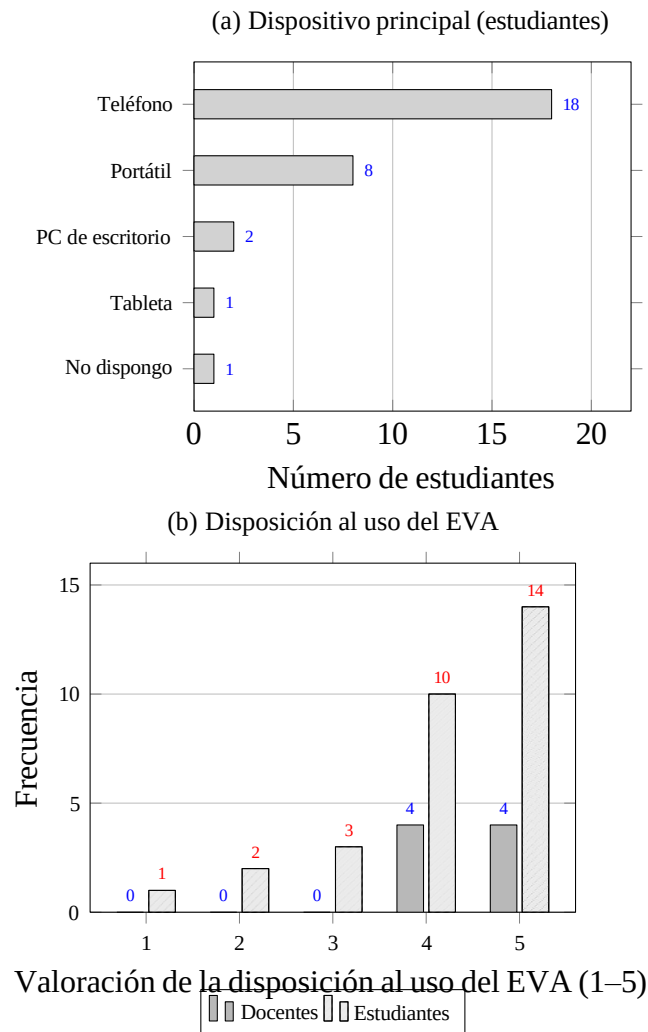


Figura 5.3. Dispositivo principal de acceso y disposición al uso del entorno virtual.

Nota: (a) dispositivo principal declarado por los estudiantes; (b) disposición al uso del EVA por grupo.

Fuente: elaboración propia a partir de la tabulación de la encuesta diagnóstica.

el dimensionamiento se analizan de forma específica en la sección 5.3, dedicada íntegramente a los resultados de la capa Cloud.

Conviene precisar un detalle de lectura de las figuras del panel de administración, para evitar una discrepancia aparente. El identificador que el panel exhibe en su encabezado no corresponde a la dirección de red del servidor: la inspección directa de las interfaces del sistema confirma una única dirección IPv4 asignada, que es la registrada en la Tabla 4.8, y a esa misma dirección resuelven tanto el dominio institucional como el subdominio del campus virtual. El valor mostrado en el encabezado del panel es un dato heredado de la configuración inicial del servicio que el propio panel no actualizó, y carece de efecto sobre la operación de la plataforma. Esta precisión alcanza a todas las capturas del panel reproducidas en este capítulo.

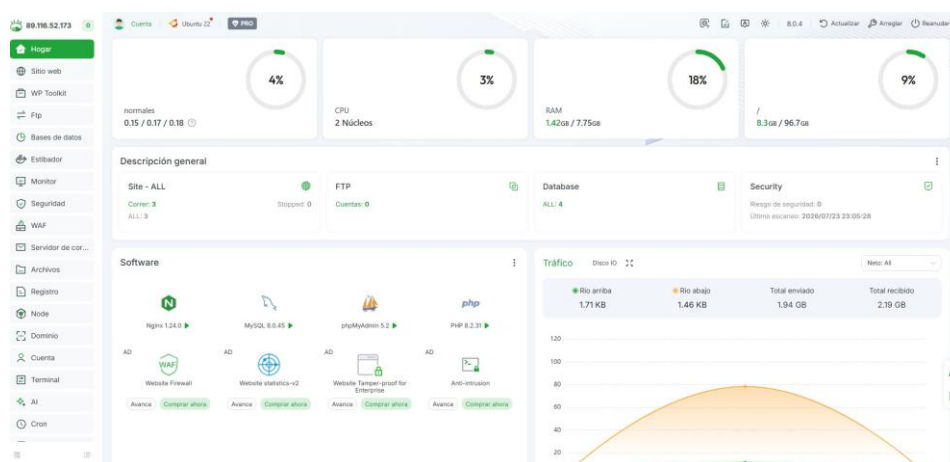


Figura 5.4. Panel principal de aaPanel con la pila LEMP instalada, al cierre de la etapa 1 del despliegue.
Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsf.edu.ec.

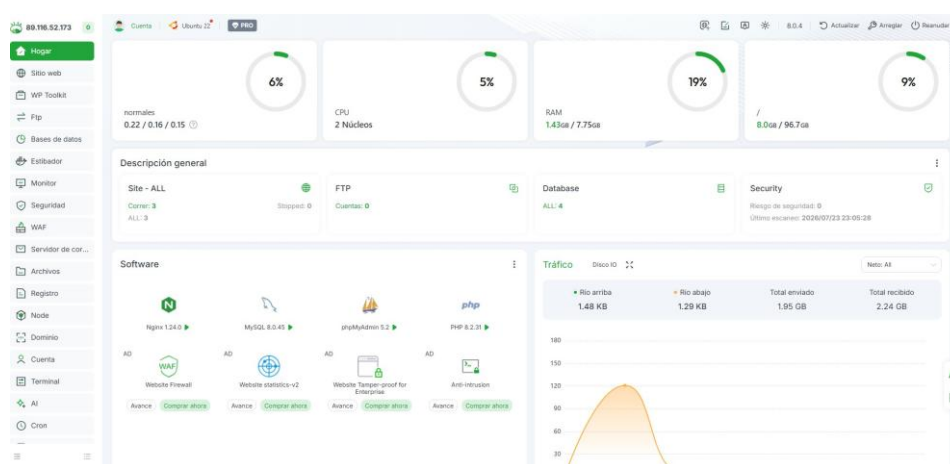


Figura 5.5. Estado del servidor en aaPanel (producción).

Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsf.edu.ec.

5.2.2 Portal institucional

El sitio <https://uecibsf.edu.ec> quedó publicado con el desarrollo a medida en HTML, CSS y JavaScript descrito en la metodología, con certificado SSL de Let's Encrypt activo y redirección forzada a HTTPS (Figuras 5.7 y 5.8). El portal centraliza la información institucional, de admisiones y de difusión de la unidad educativa. Su publicación fue posible una vez resuelta la delegación del dominio institucional ante NIC.ec, cuya zona quedó configurada con los registros A del dominio raíz y del subdominio campus, y con los registros MX y TXT/SPF del flujo de correo (Figura 5.6).

5.2.3 Campus virtual (Moodle)

El campus <https://campus.uecibsf.edu.ec> quedó operativo con la versión LTS de Moodle, cumpliendo las condiciones de despliegue seguro definidas en la metodología: directorio moodledata aislado fuera de la ruta web pública (Figura 5.12), base de datos exclusiva con

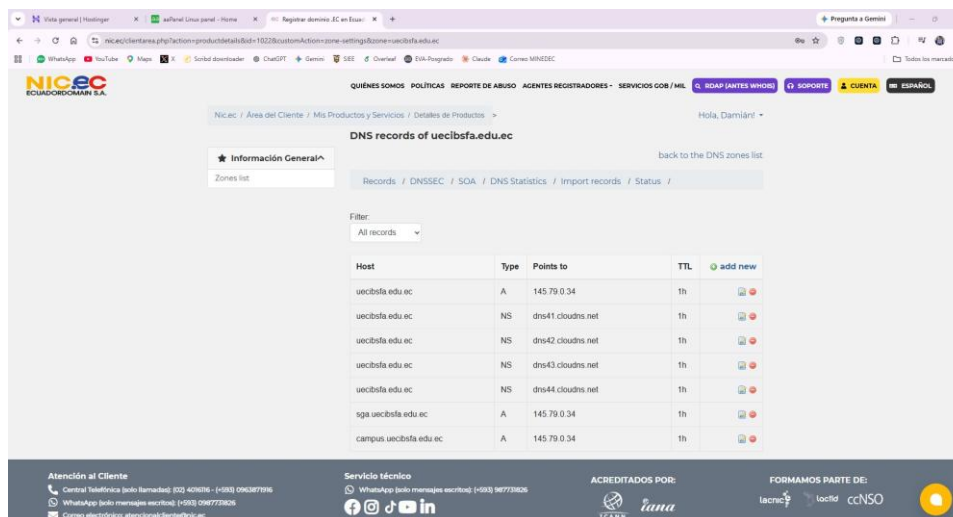


Figura 5.6. Zona DNS del dominio institucional configurada en NIC.ec.

Fuente: captura del panel de administración de la zona DNS en NIC.ec.



Figura 5.7. Portal institucional en producción (<https://uecibsf.edu.ec>).

Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsf.edu.ec.

usuario de privilegios limitados y acceso exclusivamente por HTTPS. La plataforma quedó configurada con la interfaz bilingüe Kichwa-Español (Figura 5.9), los tres roles de usuario (administrador, docente, estudiante), las categorías de cursos de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz, y la estructura interna de cursos alineada a las cuatro fases pedagógicas del MOSEIB.

Del procedimiento de despliegue descrito en la metodología (sección 4.11) se obtuvo la siguiente configuración del sistema de archivos y de la base de datos:

- El directorio de datos se creó fuera de la raíz web, de modo que no resulta alcanzable por HTTP: la ruta <https://campus.uecibsf.edu.ec/moodledata/> devuelve error 404 (Figura 5.12).

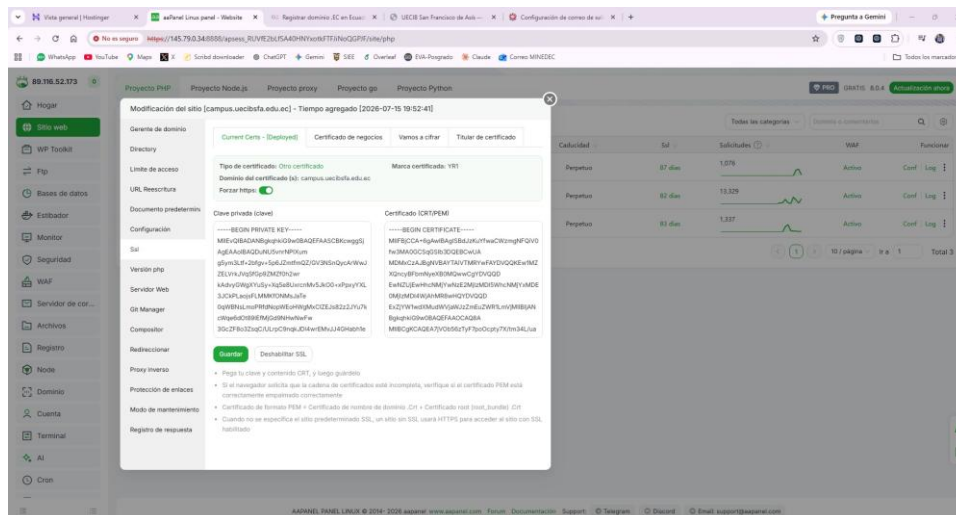


Figura 5.8. Portal institucional publicado con certificado SSL activo.

Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsf.edu.ec.

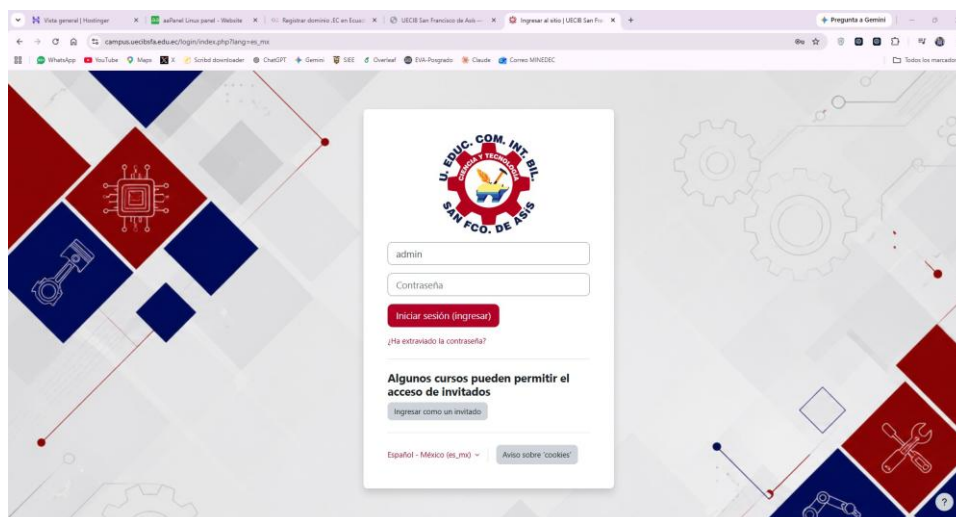


Figura 5.9. Pantalla de acceso del campus virtual.

Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsf.edu.ec.

- La propiedad del directorio del sitio y del directorio de datos quedó asignada al usuario del servidor web (www:www), condición que el instalador de Moodle verificó al superar su comprobación de permisos.
- Los permisos del directorio de datos, en cambio, no quedaron en el valor restrictivo previsto: la auditoría del servidor los registró en 777, esto es, lectura, escritura y ejecución para cualquier usuario del sistema. El hallazgo, su alcance real y la corrección recomendada se analizan en la matriz de seguridad de la sección 5.3.13.
- La base de datos del campus quedó creada con el juego de caracteres utf8mb4, necesario para almacenar correctamente las cadenas en Kichwa, y asociada a un usuario cuyos privilegios se limitan al esquema de Moodle, sin permisos administrativos globales.

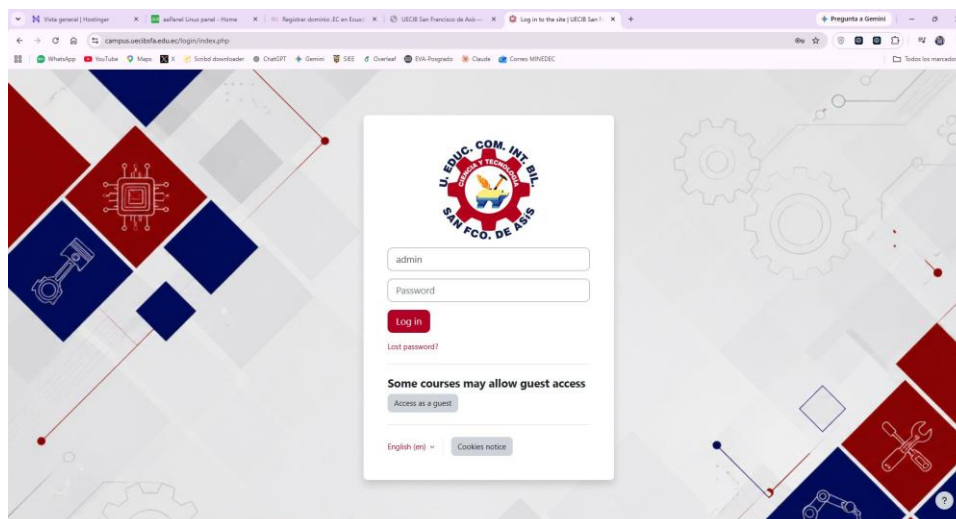


Figura 5.10. Campus virtual con interfaz bilingüe Kichwa-Español y selector de idioma disponible para el usuario.

Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsf.edu.ec.

Estructura inicial de un curso referente a las fases pedagógicas del modelo MOSEIB implementado.

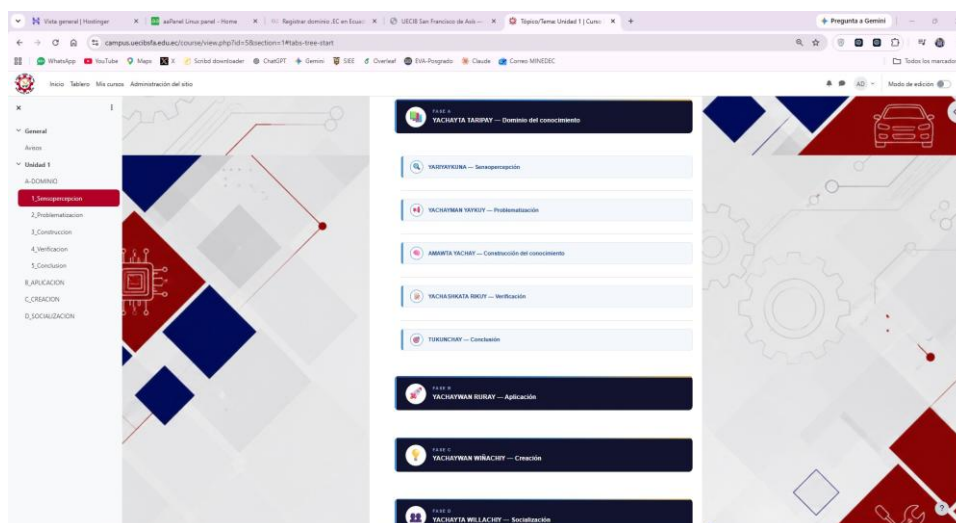


Figura 5.11. Estructura de un curso alineada a las fases pedagógicas del MOSEIB.

Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsf.edu.ec.

- La instalación finalizó sin advertencias críticas en Administración del sitio → Notificaciones.

En cuanto a la operación programada, la tarea de cron configurada según el procedimiento de la metodología quedó ejecutándose con la periodicidad establecida, extremo que la auditoría confirma con el historial completo de ejecuciones registrado por la propia plataforma (sección 5.3.14). La revisión de los parámetros críticos del intérprete arrojó `max_input_vars = 5 000`, conforme al ajuste aplicado durante la instalación, y `memory_limit = 128M`, valor por defecto del perfil de `aaPanel` cuya incidencia sobre el dimensionamiento del nodo se analiza en la sección 5.3.10.

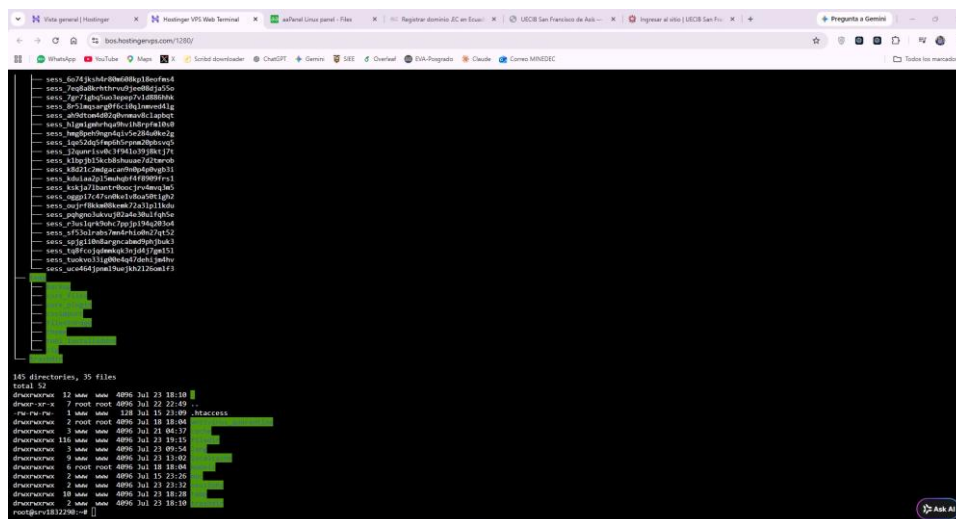


Figura 5.12. Aislamiento del directorio moodledata (verificación).

Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsa.edu.ec.

5.2.4 Inventario de contenidos académicos creados

Como resultado central del tercer objetivo específico, la plataforma quedó cargada con los cursos de las dos figuras profesionales. El dato verificado disponible es el total de 6 cursos operativos, confirmado durante la prueba de restauración controlada (Tabla 5.19), junto con las cuentas de los 38 usuarios del censo. La Tabla 5.4 consolida el inventario cuantitativo de contenidos.

Corresponde precisar la instalación a la que este inventario pertenece, conforme a la separación declarada en el protocolo de auditoría (sección 4.15): los seis cursos y sus contenidos corresponden a la **Instalación I (piloto)**, que es la que sustenta las métricas de adopción de la sección 5.7 y la evaluación de usabilidad. La **Instalación II (vigente)**, sobre la que se ejecutó la auditoría de infraestructura, fue construida al inicio del año lectivo siguiente con la estructura completa de la oferta académica institucional y no con la del piloto, por lo que su número de cursos no es comparable con el de esta tabla y no se contrasta con él.

Tabla 5.4. Inventario de cursos, recursos y actividades por figura profesional.

Elemento	Mecatrónica	Electromecánica Automotriz	Total
Cursos	3	3	6
Recursos (archivo, carpeta, página, URL, libro)	6	6	12
Tareas	3	3	6
Cuestionarios	3	3	6
Foros	6	6	12
Consultas	0	0	0

Fuente: elaboración propia a partir de los reportes de administración de Moodle.

El inventario evidencia una estructura simétrica entre ambas figuras profesionales: 3 cursos por figura (6 en total) y, dentro de cada curso, 2 recursos de contenido (páginas), 1 tarea, 1 cuestionario y 2 foros, conforme a la plantilla de organización definida por fase del MOSEIB. La

actividad Consulta no se utilizó en esta etapa inicial de operación, aunque permanece disponible en la plataforma para su incorporación posterior según lo previsto en el marco teórico. Esta simetría responde al diseño deliberado de una plantilla común de curso, que facilita tanto la apropiación por parte de los docentes como el mantenimiento administrativo de la plataforma.

5.3 Resultados de la implementación de Cloud Computing

Los apartados anteriores documentan qué quedó instalado; este documenta cómo se comporta la infraestructura que lo sostiene. La distinción no es retórica: Cloud Computing es, en este proyecto, la capa que hace posible que Moodle esté disponible de forma permanente y accesible por Internet, mientras que Moodle es la aplicación que consume ese servicio. Confundir ambos planos llevaría a presentar como resultado de la nube lo que en realidad es una funcionalidad del gestor de aprendizaje, o a la inversa. Por esa razón, esta sección reporta exclusivamente propiedades del entorno de ejecución: el recurso contratado, el sistema operativo, los servicios, el motor de base de datos, el dimensionamiento, la seguridad, el respaldo y el costo de la infraestructura.

Los datos proceden de la auditoría técnica ejecutada el 14 de agosto de 2026 conforme al protocolo de la sección 4.15, y se presentan con las dos salvaguardas allí declaradas. La primera es la separación de fases: todo lo que sigue corresponde a la **Instalación II (vigente)**, cuyos indicadores de infraestructura son independientes del contenido pedagógico cargado en la plataforma; los indicadores de adopción y la prueba de carga con 60 usuarios concurrentes pertenecen a la **Instalación I (piloto)** y se reportan por separado en las secciones 5.4 y 5.7, sin que unos y otros se contrasten entre sí. La segunda es el etiquetado del estatuto de cada valor como *medido*, *configurado* o *proyectado*, que se conserva a lo largo de todos los apartados.

La exposición sigue el orden de construcción de la solución y no el orden de las capas. Se reportan primero los tres pasos del despliegue en la nube (la máquina virtual, el panel de control y el campus virtual), porque es la secuencia que otra institución debería reproducir; a continuación se caracteriza el recurso obtenido y se verifica su comportamiento; y se cierra con la síntesis entre lo diseñado y lo obtenido.

5.3.1 Paso 1. Despliegue y configuración de la máquina virtual con Ubuntu Server

El primer resultado del despliegue en la nube es la máquina virtual en sí: un servidor que no existía físicamente en la institución y que quedó disponible, operativo y bajo control administrativo del proyecto, en el plazo que media entre la contratación y el primer acceso remoto. Este apartado documenta qué se obtuvo en ese paso y cómo se verificó.

Aprovisionamiento y primer acceso. Contratado el plan KVM 2 y seleccionado el centro de datos conforme a la comparación de latencias de la Tabla 4.9, el proveedor provisionó la

instancia con una imagen de Ubuntu Server 22.04 LTS, operación automatizada que la Figura 5.13 documenta en curso. La primera operación ejecutada sobre el servidor fue la verificación de la identidad y de la naturaleza del recurso entregado, extremo que no puede darse por supuesto: lo que se contrata es una descripción comercial, y lo que corresponde acreditar es que el núcleo del sistema reconoce efectivamente ese recurso. El fragmento 6 reproduce la salida obtenida.

Fragmento 6. Resultado de la identificación del servidor y de la tecnología de virtualización.

```
# ssh root@145.79.0.34
# hostnamectl
  Static hostname: srv1832290
           Icon name: computer-vm
           Chassis:  vm
           Machine ID: 3d481ceb4fc642c49add50849cd796df
           Virtualization: kvm                  <-- virtualizacion completa, no contenedor
Operating System: Ubuntu 22.04.5 LTS
           Kernel: Linux 5.15.0-185-generic
           Architecture: x86-64
Hardware Vendor: QEMU
Hardware Model: Standard PC _i440FX + PIIX, 1996_

# systemd-detect-virt
kvm
```

El resultado acredita el primer criterio de selección del proveedor: la instancia opera bajo virtualización KVM con hipervisor QEMU y virtualización completa, y no sobre contenedores compartidos. La diferencia es determinante para el proyecto, porque una instancia basada en contenedores compartidos restringe la personalización del núcleo y de ciertos servicios, y habría impedido, entre otras cosas, la instalación de un panel de control con su propio servicio web y su propio cortafuegos.

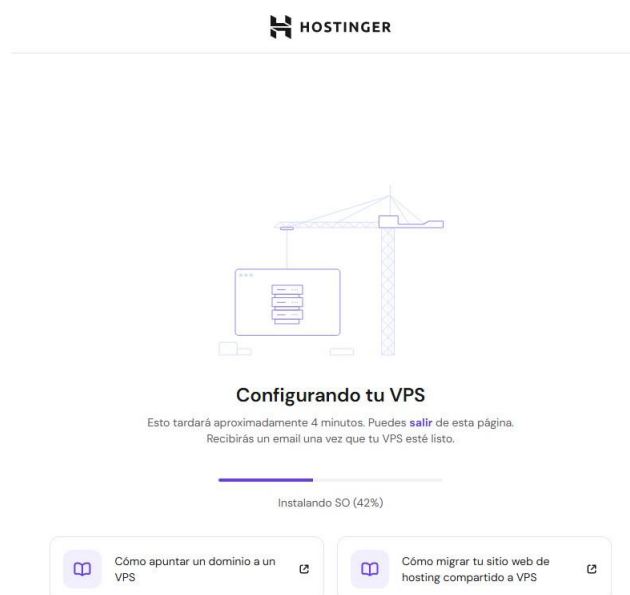


Figura 5.13. Aprovisionamiento de la máquina virtual: instalación desatendida del sistema operativo desde el panel del proveedor de infraestructura.

Nota: la pantalla corresponde al momento del aprovisionamiento, cuando el proveedor instala la imagen del sistema

operativo sobre la instancia recién creada, y documenta el carácter automatizado del suministro de infraestructura propio del modelo IaaS. Las especificaciones del plan contratado se verifican en la Figura 5.21 y en la Tabla 4.8. Fuente: captura del panel de administración del proveedor Hostinger [31].

Verificación de los recursos entregados. La segunda comprobación contrasta el recurso vendido con el recurso reconocido por el sistema operativo. El fragmento 7 reproduce la salida de las tres consultas aplicadas.

Fragmento 7. Resultado de la verificación de procesador, memoria y almacenamiento entregados.

```
# lscpu | egrep 'CPU(s)|Model name|Hypervisor|Virtualization type'
CPU(s):                2
Model name:            AMD EPYC 9354P 32-Core Processor
Hypervisor vendor:    KVM
Virtualization type:   full

# free -h
              total        used        free      shared  buff/cache   available
Mem:          7.8Gi        1.8Gi        2.9Gi        520Mi        3.1Gi        5.1Gi
Swap:          0B           0B           0B          <-- SIN memoria de intercambio

# df -hT / ; lsblk -d -o NAME,SIZE,ROTA,TYPE,MODEL
Filesystem      Type  Size  Used Avail Use% Mounted on
/dev/sda1        ext4   97G   11G   87G  11% /
NAME            SIZE ROTA TYPE MODEL
sda             100G   0 disk QEMU HARDDISK    <-- ROTA=0: disco no rotacional (SSD)
```

Los tres recursos coinciden con lo contratado: dos núcleos virtuales sobre un procesador anfitrión AMD EPYC 9354P de 32 núcleos, 7,75 GiB de memoria y 100 GB de almacenamiento no rotacional. La salida documenta además el primer hallazgo de infraestructura del trabajo, visible en la tercera línea de free: la instancia **no dispone de memoria de intercambio**. En el momento de la verificación el dato es meramente descriptivo; su consecuencia se desarrolla en la sección 5.3.10, donde se convierte en el factor que transforma un desajuste de configuración en un riesgo operativo real. La Figura 5.14 reproduce la sesión de consola en que se obtuvieron estas comprobaciones.

Configuración inicial del sistema operativo. Sobre la instancia verificada se aplicaron cuatro operaciones de preparación, cuyo orden no es indiferente: la actualización precede a cualquier instalación para evitar arrastrar vulnerabilidades conocidas, y la zona horaria precede a la programación de cualquier tarea para que las marcas de tiempo del calendario académico sean coherentes. El fragmento 8 reproduce el resultado.

Fragmento 8. Resultado de la actualización del sistema y del ajuste de la zona horaria.

```
# apt update && apt upgrade -y
...
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.    <-- sin paquetes pendientes

# timedatectl set-timezone America/Guayaquil
# timedatectl | grep 'Time zone'
    Time zone: America/Guayaquil (-05, -0500)

# systemctl is-active unattended-upgrades
active                    <-- parcheo automatico de seguridad habilitado
```

```

Static hostname: srv1832290
    Icon name: computer-vm
    Chassis: vm
    Machine ID: 3d481ceb4fc642c49add50849cd796df
    Boot ID: 651a7553b5df44c7989a416832a07a3e
    Virtualization: kvm
Operating System: Ubuntu 22.04.5 LTS
    Kernel: Linux 5.15.0-185-generic
    Architecture: x86-64
    Hardware Vendor: QEMU
    Hardware Model: Standard PC i440FX + PIIX, 1996_
CPU(s): 2
On-line CPU(s) list: 0,1
Model name: AMD EPYC 9354P 32-Core Processor
Hypervisor vendor: KVM
Virtualization type: full
NUMA node0 CPU(s): 0,1
Mem: total used free shared buff/cache available
      7.8Gi 1.6Gi 2.6Gi 513Mi 3.5Gi 5.4Gi
Swap: 0B 0B 0B
Filesystem Type Size Used Avail Use% Mounted on
/dev/sda1 ext4 97G 11G 87G 11% /
NAME SIZE ROTA TYPE MODEL
loop0 63.8M 0 loop
loop1 74M 0 loop
root@srv1832290:~#

```

Figura 5.14. Sesión de consola segura sobre el servidor, con la verificación de la virtualización, del procesador, de la memoria y del almacenamiento entregados.

Nota: la salida acredita en una sola pantalla los cuatro datos que sostienen la caracterización de la capa IaaS: virtualización kvm sobre hipervisor QEMU, procesador anfitrión AMD EPYC 9354P con dos núcleos asignados, 7,8 GiB de memoria con área de intercambio en 0B y un sistema de archivos raíz ext4 de 97 GB útiles sobre el disco de 100 GB contratado.

Fuente: captura de la sesión de consola sobre el servidor en producción.

```

# uptime -p ; who -b
up 4 weeks, 2 days, 3 hours, 54 minutes
system boot 2026-07-15 17:18:55

```

La última consulta del fragmento constituye por sí sola un resultado del proyecto y no un dato de configuración: al momento de la auditoría, el servidor acumulaba **30 días y 3 horas de operación continua sin reinicios**. Contrastado con la condición que motivó la adopción de la nube (la interrupción del suministro eléctrico institucional en la franja vespertina, verificada en el diagnóstico), este valor documenta que el traslado del servidor a un centro de datos externo resolvió efectivamente la restricción: durante treinta días consecutivos, incluidos fines de semana y jornadas vespertinas completas, el servicio no se interrumpió por causas de energía. Corresponde precisar el alcance de la afirmación, conforme a la distinción desarrollada en la sección 5.3.12: el dato acredita estabilidad operativa del sistema, no un porcentaje de disponibilidad del servicio web medido de forma continua.

Seguridad básica de la máquina virtual. El endurecimiento inicial comprendió la activación del cortafuegos con política de denegación por omisión y la instalación del servicio de bloqueo

por intentos de autenticación fallidos. El fragmento 9 reproduce el estado verificado de ambos controles sobre el servidor en producción.

Fragmento 9. Resultado de la verificación del cortafuegos y del bloqueo por fuerza bruta.

```
# ufw status verbose
Status: active
Logging: on (low)
Default: deny (incoming), allow (outgoing), disabled (routed)
To Action From
--
22/tcp ALLOW IN Anywhere
80/tcp ALLOW IN Anywhere
443/tcp ALLOW IN Anywhere
887/tcp, 888/tcp, 8888/tcp ALLOW IN Anywhere (servicios del panel)

# iptables -L INPUT -n --line-numbers | head -4
Chain INPUT (policy DROP) <-- politica por omision: denegar
1 f2b-sshd tcp -- 0.0.0.0/0 0.0.0.0/0 multiport dports 22
2 DROP all -- 0.0.0.0/0 0.0.0.0/0 match-set aapanel.ipv4.blacklist src

# fail2ban-client status sshd
|- Number of jail: 1
'- Jail list: sshd
|- Currently failed: 1 |- Total failed: 144
|- Currently banned: 0 |- Total banned: 20
```

El resultado más significativo de este fragmento no es la configuración sino el contador: **144 intentos de autenticación fallidos acumulados y 20 direcciones bloqueadas**. Estas cifras acreditan que la medida no es preventiva en abstracto, sino que actuó sobre tráfico hostil real dirigido contra el servidor durante el período de operación. Constituyen, además, la evidencia empírica de una de las diferencias entre el modelo Cloud y un servidor institucional aislado: exponer un servicio educativo en Internet implica recibir exploración automatizada de forma permanente, y la política de seguridad debe dimensionarse para esa condición y no para la de una red local. El detalle completo de los controles por capa, y las tres debilidades declaradas, se reportan en la sección 5.3.13.

5.3.2 Paso 2. Instalación y configuración de aaPanel sobre el servidor Ubuntu

Con la máquina virtual verificada y endurecida, el segundo paso instaló la capa de administración. El resultado de este paso es doble: por un lado, la pila de servicios que ejecutará la plataforma; por otro, y sobre todo, la interfaz que hará que esa pila sea administrable por personal no especializado, condición de sostenibilidad justificada en la sección 4.9.3.

Instalación del panel y despliegue de la pila de servicios. El panel se instaló mediante su procedimiento oficial de instalación desatendida, y desde su tienda de aplicaciones se desplegaron los cuatro componentes de la pila. El fragmento 10 reproduce la verificación de versiones y del estado de los servicios obtenida sobre el servidor en producción.

Fragmento 10. Resultado de la instalación del panel y de la pila de servicios.

```
# --- version de cada componente instalado desde la tienda del panel ---
# nginx -v
nginx version: nginx/1.24.0
# php -v | head -1
PHP 8.2.31 (cli) (built: May 20 2026 09:04:56) (NTS)
# mysql --version
mysql Ver 8.0.45 for Linux on x86_64 (MySQL Community Server - GPL)
# redis-server -v
Redis server v=6.0.16

# --- estado y arranque automatico de los servicios ---
# for s in nginx mysqld php-fpm-82 redis-server fail2ban cron; do
#   printf '%-14s activo=%s arranque=%s\n' "$s" \
#     "$(systemctl is-active $s)" "$(systemctl is-enabled $s)"; done
nginx          activo=active   arranque=enabled
mysqld         activo=active   arranque=enabled
php-fpm-82     activo=active   arranque=enabled
redis-server   activo=active   arranque=enabled
fail2ban       activo=active   arranque=enabled
cron           activo=active   arranque=enabled

# --- procesos de trabajo en operacion normal ---
nginx workers : 4      php-fpm pool : 20      mysqld : 2      redis : 1
```

Los seis servicios se encuentran activos y habilitados para arranque automático. Esta segunda condición es la que aporta valor operativo y conviene no pasarla por alto: garantiza que, tras un reinicio del sistema operativo (por ejemplo, el que sigue a la aplicación de un parche de núcleo), el servicio se restablece por sí solo sin que nadie deba conectarse al servidor a levantarlo manualmente. En una institución sin personal técnico en régimen permanente, esa propiedad es la diferencia entre una interrupción de minutos y una de días. La Figura 5.15 presenta los mismos componentes tal como el panel los expone a quien administra el servidor, con su versión y su estado de instalación.

Habilitación de las extensiones exigidas por Moodle. La operación de mayor rendimiento práctico del panel en este paso fue la resolución del verificador de requisitos de Moodle. En una instalación por línea de comandos, cada extensión de PHP debe identificarse, instalarse y habilitarse individualmente, con reinicio del gestor de procesos y nueva comprobación tras cada intento; desde el panel, la operación se resuelve marcando las extensiones en la ficha de la versión de PHP instalada. El fragmento 11 reproduce el conjunto efectivamente habilitado.

Fragmento 11. Resultado de la habilitación de las extensiones de PHP requeridas por Moodle.

```
# php -m | tr '\n' ' '
bcmath Core ctype curl date dom exif fileinfo filter ftp gd gettext hash iconv
igbinary intl json libxml mbstring mysqli mysqlnd openssl pcntl pcre PDO
pdo_mysql pdo_sqlite Phar posix random redis Reflection session shmop SimpleXML
soap sockets sodium SPL sqlite3 standard sysvsem tokenizer xml xmlreader
xmlwriter Zend OPcache zip zlib zstd
```

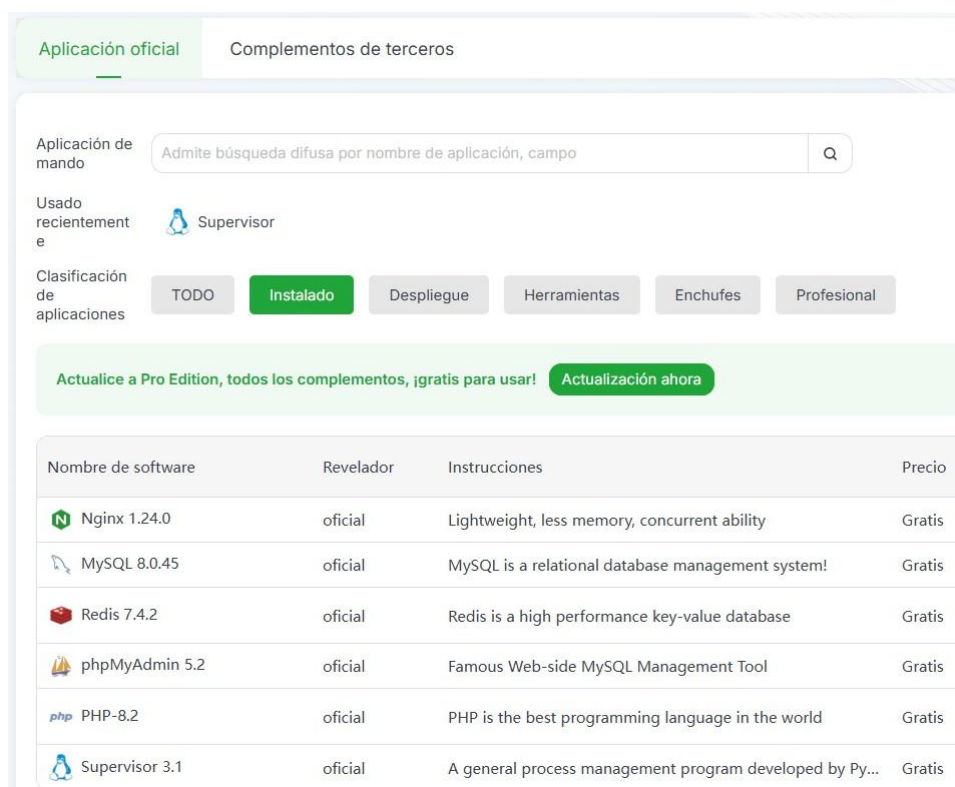


Figura 5.15. Tienda de aplicaciones de aaPanel filtrada por componentes instalados sobre el servidor.

Nota: el listado corresponde al filtro *Instalado* y muestra las mismas versiones verificadas por consola en el fragmento 10: Nginx 1.24.0, MySQL 8.0.45, PHP 8.2 y Redis 7.4.2, junto con el gestor web del motor de datos y el supervisor de procesos. Todos los componentes provienen del repositorio oficial del panel y no generan costo de licencia.

Fuente: captura del panel de administración del servidor en producción.

```
# --- extensiones exigidas por el verificador de requisitos de Moodle ---
# intl mbstring gd soap zip curl openssl xml json pdo_mysql opcache
# Resultado del verificador: todos los requisitos en estado OK
```

Las once extensiones que el verificador de Moodle exige se encuentran presentes, junto con las de rendimiento (opcache, igbinary) y el cliente de la caché externa (redis). El verificador de requisitos de la instalación reportó todos los elementos en estado correcto, condición sin la cual el asistente de instalación de Moodle no habría permitido avanzar. La Figura 5.16 reproduce la ficha del panel desde la que se resolvió esta habilitación.

Endurecimiento del acceso al propio panel. Incorporar un panel de control añade una interfaz web privilegiada a la superficie expuesta, contrapartida declarada en la sección 4.9.3. La mitigación aplicada fue la sustitución de la ruta de acceso por omisión mediante la función de *entrada de seguridad* del propio panel, de modo que cualquier petición dirigida a la raíz del servicio recibe un error de página no encontrada. El fragmento 12 reproduce la comprobación externa de esa medida.

Fragmento 12. Resultado de la verificación de la entrada de seguridad del panel.

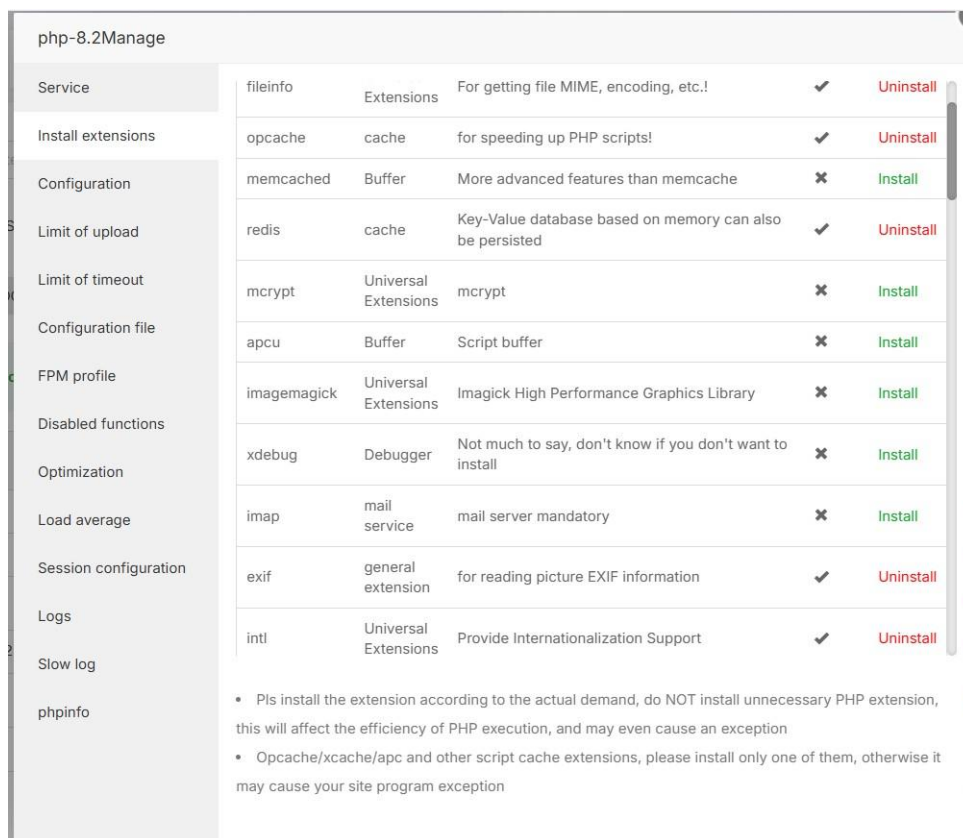


Figura 5.16. Ficha de extensiones de PHP 8.2 en aaPanel, desde la que se habilitan los módulos exigidos por Moodle.

Nota: la vista reproduce el tramo del listado en que se aprecian habilitadas intl, opcache, redis, fileinfo y exif, y sin instalar aquellas que la plataforma no requiere. Cada módulo se habilita marcándolo en esta ficha, sin edición de archivos de configuración ni reinicio manual del gestor de procesos; el conjunto completo de extensiones activas consta en el fragmento 11 y su validación por el propio Moodle, en la Figura 5.18.

Fuente: captura del panel de administración del servidor en producción.

```
# petición a la raíz del servicio de administracion (ruta por omision)
$ curl -s -o /dev/null -w '%{http_code}\n' http://campus.uecibsf.edu.ec:8888/404
<-- la interfaz no responde en la ruta por omision

# la interfaz solo responde en la ruta personalizada configurada
# (el valor real no se reproduce en este documento, conforme a la
# politica de no divulgacion de parametros de acceso, seccion 4.9)
```

El valor de la ruta personalizada no se reproduce en este informe, conforme al criterio de no divulgación de parámetros de acceso declarado en la sección 4.10.7. La medida sustrae la interfaz de administración del alcance de los rastreadores automatizados que exploran los puertos de administración conocidos, que son precisamente los que generan los intentos contabilizados en el fragmento 9. No sustituye, en cambio, a una restricción por dirección de origen, cuya ausencia se declara como debilidad en la sección 5.3.13.

Resultado del paso: capacidad de alojamiento múltiple. El resultado funcional del segundo paso, y el que justifica retrospectivamente la elección del panel, es la capacidad efectiva de alojar

servicios web independientes sobre un mismo servidor. Al cierre del período documentado, el servidor aloja **tres sitios institucionales** con dominios, raíces de documentos, bases de datos y certificados propios, conforme al esquema de la Figura 4.3. El fragmento 13 reproduce la evidencia.

Fragmento 13. Resultado del alojamiento múltiple: tres sitios institucionales sobre un mismo servidor.

```
# ls -l /www/wwwroot/
campus.uecibsf.edu.ec      # campus virtual Moodle
moodledata                 # directorio de datos, fuera de toda raiz web
sga.uecibsf.edu.ec        # sistema de gestion academica
uecibsf.edu.ec             # portal institucional

# ls -l /www/server/panel/vhost/nginx/
campus.uecibsf.edu.ec.conf
sga.uecibsf.edu.ec.conf
uecibsf.edu.ec.conf        # un bloque de servidor virtual por sitio

# crontab -l | grep -c .    # tareas programadas activas
4
```

Este resultado es el que permite afirmar que el proyecto no se limitó a instalar Moodle, sino que dotó a la institución de una infraestructura digital reutilizable: el mismo servidor, el mismo dominio y el mismo esquema de administración soportan hoy el campus virtual, el portal informativo y un tercer servicio de gestión académica incorporado con posterioridad, sin contratación adicional y sin intervención sobre los servicios ya en operación. Una instalación de Moodle directamente sobre el sistema operativo habría producido un campus virtual funcional, pero no esta capacidad de crecimiento institucional. La Figura 5.17 reproduce el listado de sitios del panel, donde los tres servicios aparecen con su certificado, su versión de PHP y su volumen de solicitudes propios.

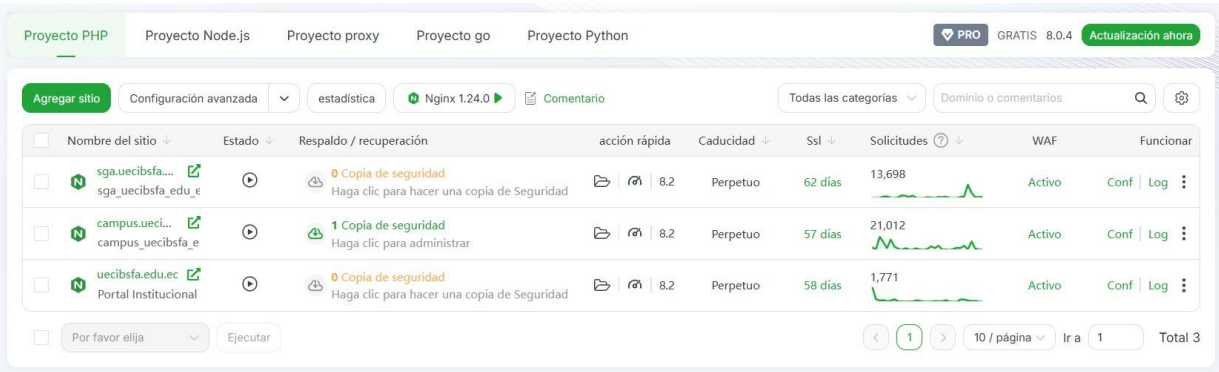


Figura 5.17. Listado de sitios de aaPanel con los tres servicios web institucionales alojados sobre el mismo servidor.

Nota: el pie del listado confirma un total de tres sitios, y cada fila declara su propio certificado con la vigencia restante en la columna Ssl (de 57 a 62 días al momento de la captura, con renovación automática), su versión de PHP, su volumen de solicitudes y su cortafuegos de aplicación activo. Es la evidencia del alojamiento múltiple que justifica la incorporación del panel (sección 4.9.3) frente a una instalación directa de Moodle.

Fuente: captura del panel de administración del servidor en producción.

5.3.3 Paso 3. Despliegue de la plataforma Moodle mediante aaPanel

El tercer paso desplegó el campus virtual sobre la pila ya verificada. Se reportan aquí los cuatro resultados que condicionan su funcionamiento: la creación del sitio y del transporte cifrado, la base de datos, el aislamiento del directorio de datos y la operación programada.

Creación del sitio y emisión del certificado. El sitio `campus.uecibsf.edu.ec` se creó desde el panel, que generó la raíz de documentos, el bloque de servidor virtual y el enlace de activación, y emitió el certificado gratuito con renovación automática. El fragmento 14 reproduce el resultado verificado del transporte.

Fragmento 14. Resultado de la creación del sitio y del transporte cifrado del campus virtual.

```
# openssl s_client -connect campus.uecibsf.edu.ec:443 \
# -servername campus.uecibsf.edu.ec </dev/null 2>/dev/null | openssl x509 -noout -subject -issuer -
    ↪ dates
subject=CN = campus.uecibsf.edu.ec
issuer =C = US, O = Let's Encrypt, CN = YR1
notBefore=Jul 16 22:30:29 2026 GMT
notAfter =Oct 14 22:30:28 2026 GMT

# --- protocolos admitidos (uno por linea: resultado de la negociacion) ---
tls1      : rechazado          tls1_2 : ADMITIDO
tls1_1    : rechazado          tls1_3 : ADMITIDO

# --- cabeceras de seguridad y redireccion ---
$ curl -sI https://campus.uecibsf.edu.ec | egrep -i 'strict-transport|x-frame'
strict-transport-security: max-age=31536000
x-frame-options: sameorigin
$ curl -s -o /dev/null -w '%{http_code}' -> '%{redirect_url}\n' http://campus.uecibsf.edu.ec
301 -> https://campus.uecibsf.edu.ec/
```

El resultado acredita transporte cifrado con los protocolos obsoletos rechazados, política de transporte estricto con vigencia de un año y redirección permanente del tráfico no cifrado. Conviene señalar que este estado no fue el inicial: el primer análisis externo otorgó calificación B, limitada por la habilitación de TLS 1.1, y solo tras el endurecimiento aplicado el 24 de julio de 2026 la calificación ascendió a A+ (sección 5.4). Se trata, por tanto, de un resultado de la fase de Implementación del modelo ADDIE, obtenido por ajuste sobre la operación y no por configuración inicial.

Base de datos exclusiva con privilegios acotados. La creación del esquema y de su usuario se resolvió desde el formulario correspondiente del panel, que ejecuta internamente las órdenes SQL equivalentes. El fragmento 15 reproduce el resultado verificado.

Fragmento 15. Resultado de la creación de la base de datos exclusiva y de sus privilegios.

```
mysql> SHOW GRANTS FOR 'sql_campus_uecibsf_edu_ec'@'localhost';
GRANT USAGE ON *.* TO 'sql_campus_uecibsf_edu_ec'@'localhost'
```

Instalación - Moodle 4.3.11+ (Build: 20250411)

Moodle 4.3.11+ (Build: 20250411)

Si desea información sobre esta versión de Moodle, por favor vea [Release Notes](#) (o su traducción al Español)

Comprobaciones del servidor

Nombre	Información	Reporte	Plugin	Estatus
unicode		debe estar instalado y activado		OK
database	mysql (8.0.45)	versión 8.0 es obligatoria y está ejecutando 8.0.45		OK
php		versión 8.0.0 es obligatoria y está ejecutando 8.2.31		OK
pcreunicode		debería estar instalado y activado para conseguir los mejores resultados		OK
php_extension	iconv	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	mbstring	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	curl	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	openssl	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	tokenizer	debería estar instalado y activado para conseguir los mejores resultados		OK
php_extension	soap	debería estar instalado y activado para conseguir los mejores resultados		OK
php_extension	ctype	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	zip	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	zip	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	zlib	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	gd	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	simplexml	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	spl	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	pcre	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	dom	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	xml	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	xmlreader	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	intl	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	json	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	hash	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	fileinfo	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	sodium	debe estar instalado y activado		OK
php_extension	exif	debería estar instalado y activado para conseguir los mejores resultados		OK
php_setting	memory_limit	detectado ajuste recomendado		OK
php_setting	file_uploads	detectado ajuste recomendado		OK
php_setting	opcache.enable	detectado ajuste recomendado		OK

Otras comprobaciones

Información	Reporte	Plugin	Estatus
site not https	Si esta comprobación falla, esto indica un problema potencia Se ha detectado que su sitio no está asegurado mediante HTTPS. Es altamente recomendable que migre su sitio a HTTPS para aumentar la seguridad y mejorar la integración con otros sistemas		Revisar
Su entorno de servidor cumple todos los requisitos mínimos.			

Figura 5.18. Verificador de requisitos del instalador de Moodle 4.3.11+ sobre la pila desplegada.
 Nota: el verificador reporta en estado correcto el motor de datos (MySQL 8.0.45), el intérprete (PHP 8.2.31) y la totalidad de las extensiones exigidas —entre ellas mbstring, soap, zip, gd, intl y opcache—, y cierra con la declaración de que el entorno cumple todos los requisitos mínimos. La comprobación se ejecutó durante la instalación, previa a la emisión del certificado, de modo que el único aviso corresponde al acceso sin cifrar; su resolución se verifica en el fragmento 14 y en la Tabla 5.21.

Fuente: captura del proceso de instalación sobre el servidor en producción.

```
GRANT ALL PRIVILEGES ON 'sql_campus_uecibsf_a_edu_ec'.* TO
'sql_campus_uecibsf_a_edu_ec'@'localhost'
-- privilegios acotados al propio esquema; sin permisos administrativos globales
-- y sin acceso desde origen distinto de localhost

mysql> SELECT default_character_set_name, default_collation_name
-> FROM information_schema.SCHEMATA
-> WHERE schema_name = 'sql_campus_uecibsf_a_edu_ec';
utf8mb4 | utf8mb4_unicode_ci      -- necesario para las cadenas en kichwa

mysql> SELECT COUNT(*) AS tablas,
-> ROUND(SUM(data_length+index_length)/1024/1024,2) AS tamaño_mb
-> FROM information_schema.TABLES WHERE table_schema='sql_campus_uecibsf_a_edu_ec';
483 tablas | 33.27 MB
```

Tres condiciones de diseño quedan verificadas en esta salida. El usuario del campus virtual tiene privilegios limitados a su propio esquema y solo desde la interfaz local, de modo que un compromiso de la aplicación no otorgaría control sobre el motor ni sobre las bases de datos de los otros dos sitios alojados. El juego de caracteres es utf8mb4, condición necesaria para almacenar correctamente las cadenas del paquete de idioma kichwa; de haberse aceptado el juego de caracteres por omisión, la localización habría fallado en los caracteres fuera del plano básico. Y el esquema resultante ocupa 33,27 MB en 483 tablas, magnitud que la sección 5.3.9 contrasta con la memoria asignada al motor. La Figura 5.19 muestra el esquema y su usuario en el gestor de bases de datos del panel, junto a los de los otros dos sitios alojados.

☐	Nombre de la ba...	Nombre de usuar...	Contraseña	Cuota	Respaldo	Ubicación	Nota
☐	sga_uecib_liamkb	sga_uecib_liamkb	*****	No establecido	No existen	Importar	Hostil sga.uecibsf.edu.ec
☐	sga_uecibsf	sga_user	*****	No establecido	Existe (3)	Importar	Hostil sga.uecibsf
☐	sql_campus_ueci...	sql_campus_ueci...	*****	No establecido	Existe (3)	Importar	Hostil campus.uecibsf.edu.
☐	sql_uecibsf.edu...	sql_uecibsf.edu...	*****	No establecido	No existen	Importar	Hostil uecibsf.edu.ec

Figura 5.19. Gestor de bases de datos de aaPanel, con el esquema exclusivo del campus virtual y su usuario asociado.

Nota: el esquema del campus virtual (resaltado) dispone de usuario propio y de copias de respaldo existentes, y su ubicación es local, coherente con los privilegios acotados a localhost verificados en el fragmento 15. Cada sitio alojado mantiene su propio esquema, de modo que ninguno accede a los datos de los demás. Las contraseñas se muestran enmascaradas por el propio panel.

Fuente: captura del panel de administración del servidor en producción.

Aislamiento del directorio de datos. La condición de seguridad más importante de una instalación de Moodle es que su directorio de datos no sea alcanzable por HTTP, dado que contiene las entregas de los estudiantes y los archivos de sesión [23]. El fragmento 16 reproduce la verificación efectuada, que es de dos tipos: estructural, comprobando que la ruta no está contenida en ninguna raíz de documentos, y funcional, solicitando la ruta desde Internet.

Fragmento 16. Resultado de la verificación del aislamiento del directorio de datos de Moodle.

```
# --- ruta declarada por la aplicacion ---
# grep dataroot /www/wwwroot/campus.uecibsf.edu.ec/config.php
SCFG->dataroot = '/www/wwwroot/moodledata';

# --- verificacion estructural: la raiz web del sitio es otra ---
```

```
# raiz del sitio : /www/wwwroot/campus.uecibsf.edu.ec
# dataroot       : /www/wwwroot/moodledata -> NO contenido en la raiz: correcto

# --- verificacion funcional desde Internet ---
$ curl -s -o /dev/null -w '%{http_code}\n' https://campus.uecibsf.edu.ec/moodledata/
404                                <-- inalcanzable por HTTP: correcto

$ curl -s https://campus.uecibsf.edu.ec/config.php | wc -c
0                                  <-- 0 bytes: PHP lo ejecuta y no expone credenciales

# --- permisos efectivos del directorio de datos ---
# stat -c '%A %U:%G %n' /www/wwwroot/moodledata
drwxrwxrwx www:www /www/wwwroot/moodledata      <-- HALLAZGO: permisos 777
```

Las tres primeras comprobaciones resultan satisfactorias: el directorio de datos queda fuera de toda raíz de documentos, su solicitud por HTTP devuelve error 404 y el archivo de configuración se ejecuta sin filtrar credenciales. La cuarta arroja el hallazgo que este trabajo prefiere declarar antes que omitir: los permisos efectivos del directorio son 777, esto es, lectura, escritura y ejecución para cualquier usuario del sistema, cuando lo recomendado es un valor restrictivo con propiedad del usuario del servidor web. El alcance real del hallazgo debe precisarse para no sobredimensionarlo: el riesgo no proviene de Internet, puesto que la ruta no es alcanzable por HTTP, sino de un eventual proceso local comprometido en el mismo servidor, escenario que la coexistencia de tres sitios en el mismo nodo hace menos remoto. La corrección es de costo nulo y se traslada a las recomendaciones.

Operación programada de la plataforma. El último resultado del tercer paso es el que sostiene la gestión asincrónica, y su ausencia habría hecho inútil todo lo anterior: la ejecución periódica de la tarea programada de Moodle, responsable de notificaciones, recordatorios de cierre, colas de procesamiento y mantenimiento interno. Durante la verificación se detectó que dicha tarea **no se encontraba configurada**, hallazgo que se corrigió creando la tarea desde el panel con periodicidad de un minuto. El fragmento 17 reproduce la tarea vigente y la evidencia de su ejecución sostenida.

Fragmento 17. Resultado de la tarea programada de Moodle y de su historial de ejecuciones.

```
# --- tareas programadas activas en el servidor ---
# crontab -l
*/1 * * * * /www/server/cron/44842cc... # cron de Moodle (cada minuto)
22 21 * * * /www/server/cron/a50afd8... # renovacion del certificado TLS
30 1 * * * /www/server/cron/710f970... # respaldo diario de bases de datos
* * * * * cd /www/wwwroot/sga.uecibsf.edu.ec && php artisan schedule:run

# --- contenido de la tarea del campus virtual ---
/usr/bin/php /www/wwwroot/campus.uecibsf.edu.ec/admin/cli/cron.php

# --- historial registrado por la propia plataforma ---
mysql> SELECT COUNT(*) AS ejecuciones,
-> SUM(result <> 0) AS fallos,
-> MAX(FROM_UNIXTIME(timestart)) AS ultima
```

```

-> FROM mdl_task_log;
ejecuciones | fallos |          ultima
26452 |      0 | 2026-08-14 21:18:01

mysql> SELECT classname, result FROM mdl_task_log ORDER BY timestart DESC LIMIT 5;
mod_assign\task\cron_task | OK
workshopallocation_scheduled\task\cron_task | OK
tool_monitor\task\clean_events | OK
tool_messageinbound\task\pickup_task | OK
mod_workshop\task\cron_task | OK

```

El resultado es el indicador de automatización más sólido de todo el trabajo: **26.452 ejecuciones registradas con cero fallos** a lo largo de treinta días, sin una sola intervención humana. No describe una capacidad declarada sino un comportamiento sostenido, y es exactamente la condición técnica que hace posible que docentes y estudiantes interactúen con la plataforma en momentos distintos. Su análisis en relación con la pregunta de investigación se desarrolla en la sección 5.3.14. El registro interno desde el que la plataforma administra estas tareas se reproduce en la Figura 5.20.

Nombre	Componente	Editar	Bitácoras	Última corrida	Siguiente corrida	Minuto	Hora	Dí
Trabajo de sincronización de usuarios CAS \auth_cas\task\sync_task	Usar un servidor CAS (SSO) auth_cas Deshabilitado			Nunca	Plugin deshabilitado	0	0	*
Sincronizar trabajos de usuarios \auth_db\task\sync_users	Usar una base de datos externa auth_db Deshabilitado			Nunca	Plugin deshabilitado	1	23	*
Sincronizar roles del sistema desde LDAP \auth_ldap\task\sync_roles	Usar un servidor LDAP auth_ldap Deshabilitado			Nunca	Plugin deshabilitado	0	0	*

Figura 5.20. Registro de trabajos agendados del campus virtual, desde el que la plataforma administra las tareas que ejecuta su proceso programado.

Nota: la vista corresponde al encabezado del registro, cuyas primeras filas son tareas de complementos de autenticación externa deshabilitados y que por ello no registran ejecución alguna. El historial efectivo de la tarea programada del campus —26.452 ejecuciones sin fallos en treinta días— se reproduce en el fragmento 17, obtenido de la propia bitácora de la plataforma.

Fuente: captura del campus virtual en producción.

5.3.4 Verificación de la ruta de despliegue frente a la instalación directa

Documentados los tres pasos, corresponde contrastar el resultado obtenido con la justificación de diseño que motivó la ruta (sección 4.9.4). El contraste importa porque una justificación de diseño que no se verifica contra el resultado es una declaración de intenciones; la Tabla 5.5 la somete a evidencia.

Tabla 5.5. Verificación de las ventajas atribuidas a la ruta Ubuntu → aaPanel → Moodle frente al resultado obtenido.

Ventaja atribuida en el diseño	Evidencia obtenida	Valoración
Costo nulo de licenciamiento del panel	Desembolso total de infraestructura del primer año: 182,78 USD, sin ningún rubro de licencia de software (Anexo G).	Verificada. Un panel comercial habría añadido de 180 a 360 USD anuales, más del doble del desembolso efectivo.
Alojamiento de varios sitios independientes	Tres sitios en producción con dominio, raíz de documentos, base de datos y certificado propios sobre un mismo servidor (fragmento 13).	Verificada. La capacidad no quedó en potencia: se utilizó efectivamente, incluido un servicio incorporado con posterioridad al campus virtual.
Huella de recursos reducida del panel	Reparto de memoria medido por métrica proporcional: 924 MB al motor de datos, 376 MB a la aplicación, 65 MB al servidor web y 4 MB a la caché, sobre 1.881 MB en uso (sección 5.3.8).	Verificada. El consumo del panel no aparece entre los componentes relevantes del reparto de memoria del nodo.
Cobertura integrada funcional	Certificados con renovación automática, cortafuegos con 14 reglas, cuatro tareas programadas y monitor con 30 días de retención, todos administrados desde el panel.	Verificada. Ninguna de las cuatro funciones requirió herramienta adicional ni administración por consola.
Operación por personal no especializado	Ciclo completo de despliegue, endurecimiento y operación resuelto en autogestión, sin escalamiento al soporte del proveedor durante el período documentado.	Parcialmente verificada. El ciclo se resolvió en autogestión, pero por el propio autor; la transferencia efectiva al personal institucional es la condición pendiente (riesgo R5).
Superficie de administración adicional (contrapartida asumida)	Puerto de administración accesible desde cualquier origen, mitigado por ruta personalizada y credenciales robustas, sin restricción por origen.	Confirmada como costo. La contrapartida anticipada en el diseño se materializó y se declara entre las debilidades de la sección 5.3.13.

Fuente: elaboración propia a partir de la auditoría técnica del 14 de agosto de 2026.

Cinco de las seis afirmaciones de diseño se verifican con evidencia directa, una lo hace parcialmente y la contrapartida anticipada se confirma como costo efectivo. El balance sostiene la decisión de arquitectura sin necesidad de omitir su lado desfavorable, y sitúa con precisión dónde queda el trabajo pendiente: no en la infraestructura, que resultó suficiente y administrable, sino en la transferencia institucional de la capacidad de administrarla, que es un problema organizativo y no técnico.

5.3.5 Caracterización de la infraestructura Cloud aprovisionada

La primera pregunta que corresponde responder con evidencia es qué se contrató exactamente y

si el recurso entregado coincide con el declarado. La Tabla 5.6 contrasta las especificaciones del plan contratado (Tabla 4.8) con la medición realizada sobre el propio sistema operativo

del servidor, procedimiento que resulta pertinente porque el panel del proveedor y el sistema operativo son fuentes independientes: el primero declara lo vendido, el segundo informa lo que el núcleo del sistema efectivamente reconoce.

Tabla 5.6. Caracterización de la capa de Infraestructura como Servicio: contraste entre lo declarado por el proveedor y lo medido sobre el servidor.

Parámetro	Valor medido	Método de obtención
Tecnología de virtualización	KVM (QEMU), virtualización completa	Detección de hipervisor por el sistema operativo e identificación del fabricante del hardware virtual
Procesador físico anfitrión	AMD EPYC 9354P de 32 núcleos	Inventario de procesador del sistema
Núcleos virtuales asignados	2 vCPU (1 hilo por núcleo)	Inventario de procesador del sistema
Memoria total	7,75 GiB (8.127.300 kB)	Lectura directa de la tabla de memoria del núcleo
Memoria de intercambio (swap)	0 MB	Lectura directa de la tabla de memoria del núcleo
Almacenamiento	100 GB, disco no rotacional (estado sólido), sistema de archivos ext4	Inventario de dispositivos de bloque y consulta de ocupación
Ocupación del almacenamiento	10,5 GB de 96,7 GB útiles (11 %)	Consulta de ocupación del sistema de archivos y monitor del panel
Dirección IPv4 pública	145.79.0.34, única interfaz asignada	Consulta a servicio externo de resolución de dirección
Transferencia acumulada	12,80 GB enviados / 6,55 GB recibidos	Contador de tráfico del panel de administración

Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026 (Anexo H).

La medición confirma las tres especificaciones que sostienen la elección del modelo IaaS. La virtualización es de tipo KVM y no de contenedores compartidos, lo que valida el primer criterio de selección del proveedor: el núcleo del sistema es propio de la instancia y admite la personalización de servicios que un entorno compartido restringiría. Los recursos de cómputo, memoria y almacenamiento coinciden con los contratados, y la Figura 5.21 reproduce la declaración del proveedor que la medición corrobora. Y la ocupación del disco, en el 11 % tras un año de operación, indica que el almacenamiento no constituye una restricción a corto plazo.

Un dato de esta tabla merece anticiparse porque reaparecerá como elemento crítico del dimensionamiento: la instancia no dispone de memoria de intercambio. Su ausencia no afecta el rendimiento en operación normal, pero elimina el amortiguador que permitiría degradar el servicio de forma progresiva ante un agotamiento de memoria, consecuencia que se analiza en la sección 5.3.10.

Sobre esta base de hardware virtual opera el sistema operativo, cuya estabilidad constituye el primer resultado de continuidad medible del proyecto. El servidor ejecuta Ubuntu Server 22.04.5 LTS (*Jammy Jellyfish*) con núcleo 5.15.0-185 sobre arquitectura de 64 bits, y registra como último arranque el 15 de julio de 2026 a las 17:18:55, es decir, **30 días y 3 horas de operación continua**

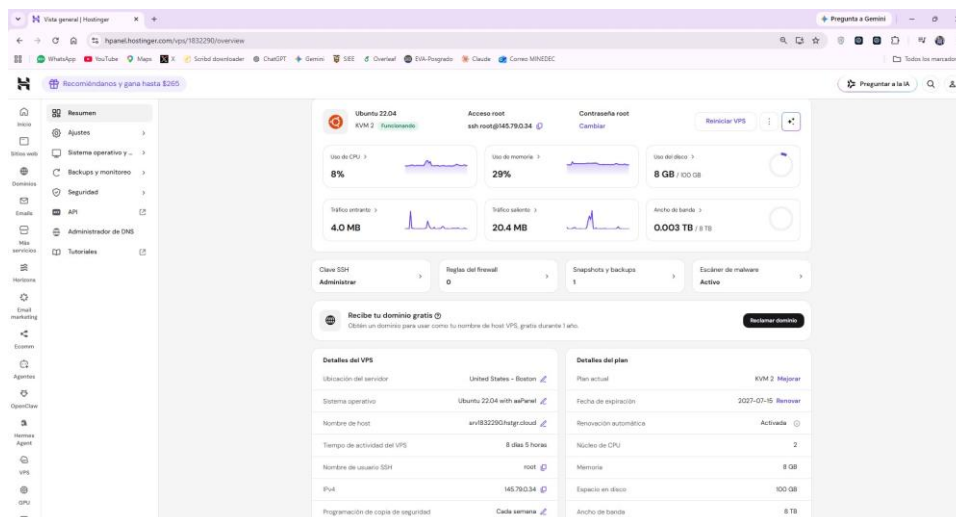


Figura 5.21. Panel de administración del proveedor Hostinger: detalles del VPS y del plan contratado.

Fuente: captura del panel de administración del proveedor Hostinger [31].

sin reinicios al momento de la auditoría (dato medido). Este valor documenta estabilidad operativa sostenida, no disponibilidad del servicio en el sentido estricto del término, distinción que se desarrolla en la sección 5.3.12.

En síntesis, el servicio contratado corresponde inequívocamente al modelo de Infraestructura como Servicio: el proveedor asume la responsabilidad sobre el centro de datos, la alimentación eléctrica redundante, la conectividad, el hardware físico y la capa de virtualización, mientras que la institución conserva la responsabilidad íntegra sobre el sistema operativo, la pila de servicios, la aplicación, los datos y las políticas de seguridad. Esa frontera de responsabilidad explica por qué el proyecto debió definir y ejecutar por sí mismo un endurecimiento del servidor, una política de respaldos y un esquema de monitoreo: ninguno de esos tres elementos viene provisto por el modelo de servicio contratado, y cada uno de ellos constituye, precisamente por eso, un resultado propio de este trabajo.

5.3.6 Verificación de los criterios de selección del proveedor

Los ocho criterios técnicos definidos en el marco teórico (sección 3.5.7) no permanecieron como declaraciones de diseño: cada uno se contrasta a continuación con evidencia verificada, indicando de forma explícita el método por el cual se obtuvo, de modo que el lector pueda distinguir los criterios verificados por medición de aquellos verificados por comprobante documental o por constatación operativa. La Tabla 5.7 conserva la numeración con que los criterios fueron enunciados en el marco teórico, e incorpora al final cuatro verificaciones complementarias que no formaron parte de los criterios de selección, pero que documentan el comportamiento de la infraestructura una vez desplegada.

La lectura conjunta de la tabla sostiene la afirmación central de este apartado: la adopción del Cloud Computing en el proyecto no se limitó a contratar un servidor virtual y cargar Moodle

sobre él, sino que respondió a un proceso deliberado de definición de criterios, aplicación documentada en el diseño de la arquitectura y verificación posterior mediante evidencia medible. Conviene, no obstante, precisar el alcance desigual de esa verificación, porque presentarla como homogénea sería inexacto. Seis de los ocho criterios se contrastaron contra mediciones directas o comprobantes; el criterio de soporte documental se verifica por una vía indirecta pero concluyente, a saber, que el ciclo completo de operación se resolvió sin necesidad de recurrir al canal de asistencia; y el criterio de escalabilidad se verifica únicamente en cuanto a la *disponibilidad del mecanismo*, no en cuanto a su ejecución, distinción que la sección 5.3.11 desarrolla y que este trabajo no elude.

5.3.7 Arquitectura por capas y estado verificado de cada una

La infraestructura no se comporta como un bloque homogéneo, sino como una pila de capas donde cada una aporta una función distinta y falla de manera distinta. Ordenar los resultados según esa estratificación permite atribuir cada hallazgo a la capa que le corresponde y, sobre todo, deja en evidencia la relación de dependencia que da sentido a toda la sección: Moodle no es Cloud Computing, sino el consumidor de un servicio Cloud sin el cual no podría estar disponible. La Figura 5.22 representa esa estructura con el aporte y el hallazgo principal de cada capa.

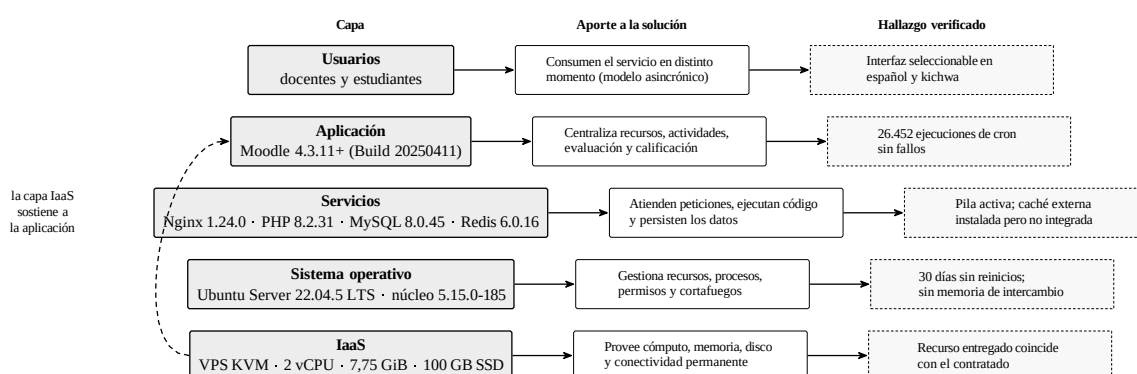


Figura 5.22. Arquitectura por capas de la solución, con el aporte y el hallazgo de cada nivel.

Nota: la capa de Infraestructura como Servicio sostiene a la aplicación, y no a la inversa.

Fuente: elaboración propia a partir de la auditoría técnica.

El estado verificado de la capa de servicios se detalla en la Tabla 5.8. Los cinco componentes se encontraron activos y habilitados para arranque automático, condición que garantiza que el servicio se restablece por sí solo tras un reinicio del sistema operativo sin intervención del administrador.

El hallazgo relevante de esta capa es el de Redis, y conviene exponerlo con precisión porque corrige lo previsto en el diseño. El servicio está instalado, en ejecución y con la extensión cliente de PHP cargada, de modo que las tres condiciones de infraestructura se cumplen; sin embargo, la verificación del uso efectivo por parte de la aplicación arroja un resultado negativo en dos indicadores concordantes: el archivo de configuración de Moodle no contiene las directivas que

declararían el almacén, y el espacio de claves del servidor mantiene únicamente tres claves con 114.626 fallos frente a 1.905 aciertos, cifras incompatibles con un almacén que estuviera sirviendo las sesiones y las cachés de aplicación de un LMS. La conclusión defendible es, por tanto, que la capa de caché externa quedó aprovisionada pero no integrada, y que la carga de lectura que se preveía derivar hacia ella está siendo absorbida íntegramente por el motor de base de datos. Este hallazgo no degrada el servicio, y de hecho el apartado siguiente muestra que el motor la absorbe con holgura, pero sí obliga a dos consecuencias metodológicas: la descripción de la arquitectura no puede presentar a Redis como componente en uso, y el margen de mejora que su activación representa debe registrarse como recomendación y no como logro alcanzado.

5.3.8 Comportamiento de los recursos computacionales

El comportamiento de los recursos se midió en condiciones de operación normal, sin carga inducida, para caracterizar el estado de reposo del servidor frente al cual deben interpretarse los picos. La Tabla 5.9 recoge esa medición.

Las dos tomas del panel reproducidas en las Figuras 5.23 y 5.24 se incluyen deliberadamente juntas porque documentan algo que una sola captura no podría sostener: que el procesador fluctúa de manera apreciable, del 8 % al 52 % en tomas separadas por minutos, mientras la memoria permanece prácticamente estable en torno al 24–27 %. Ese contraste es el primer indicio del hallazgo que la sección 5.3.10 desarrolla: el procesador absorbe la variabilidad de la demanda con holgura, en tanto que la memoria es el recurso cuya reserva conviene vigilar. La carga promedio, en 0,27 sobre dos núcleos disponibles, confirma la lectura: el sistema opera en torno al 15 % de su capacidad de procesamiento sostenida.

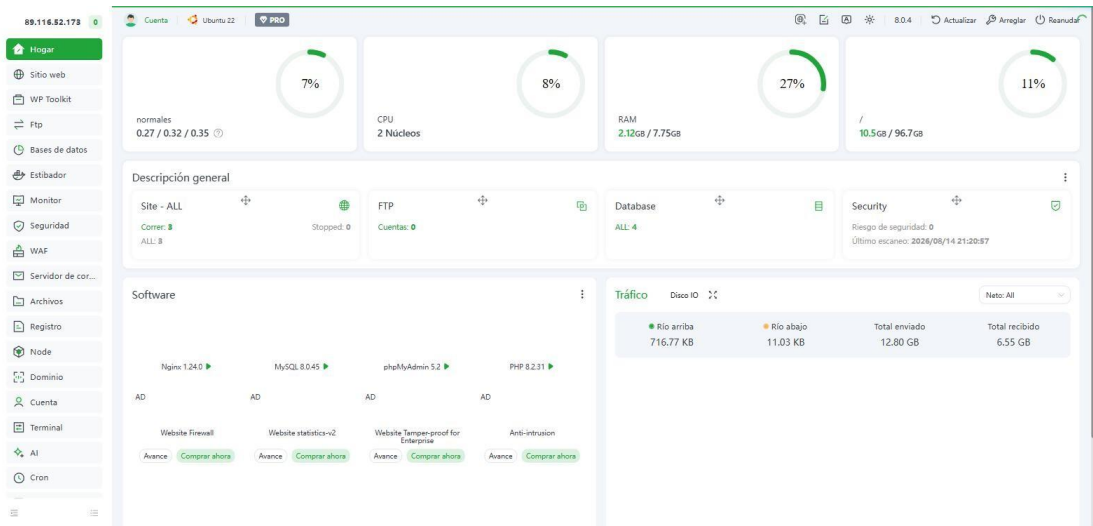


Figura 5.23. Panel de administración del servidor en operación normal.

Nota: carga promedio 0,27/0,32/0,35; procesador al 8 %; memoria en 2,12 GB de 7,75 GB (27 %); disco al 11 %; tráfico acumulado de 12,80 GB enviados y 6,55 GB recibidos.

Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026 sobre el servidor en producción (Anexo H).

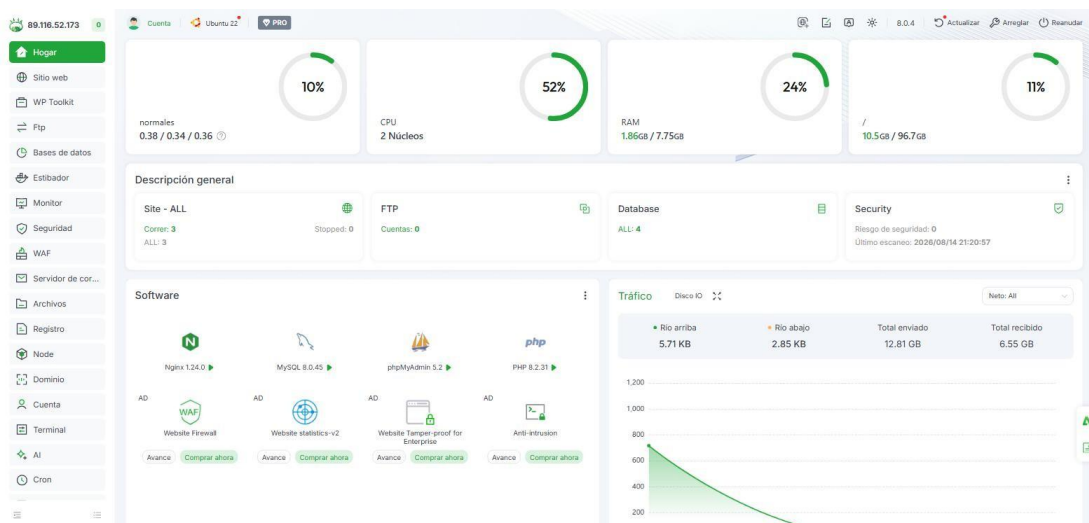


Figura 5.24. Segunda toma del panel de administración, minutos después de la anterior.

Nota: el procesador asciende al 52 % mientras la memoria desciende a 1,86 GB (24 %), lo que evidencia que el consumo de procesador fluctúa y no corresponde a un valor fijo.

Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026 sobre el servidor en producción (Anexo H).

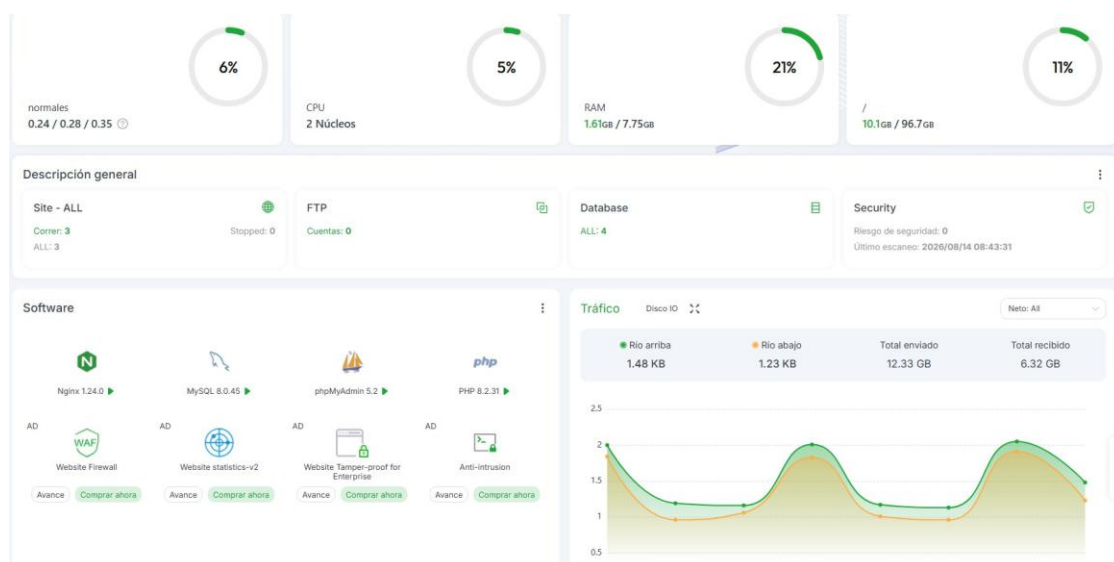


Figura 5.25. Monitor de recursos del panel de administración.

Nota: la vista expone de forma simultánea la carga promedio, el uso de procesador y memoria, la ocupación de disco y el tráfico de red del servidor en producción.

Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026 sobre el servidor en producción (Anexo H).

La vista extendida del monitor aporta dos resultados adicionales que una sola toma en reposo no permite sostener. El primero es de sostenibilidad del propio esquema de monitoreo: la retención configurada es de 30 días, con una bitácora de apenas 3,79 MB (Figura 5.28), cifra que confirma en cifras concretas la decisión de arquitectura declarada en la sección 4.10.8, a saber, que el monitor integrado no añade una carga apreciable al servidor que vigila. El segundo es de comportamiento sostenido: los paneles de procesador, memoria y promedio de carga (Figuras 5.27 y 5.28) muestran picos puntuales de hasta 70 % en carga instantánea sin que ninguno se sostenga en el tiempo, y la serie de promedios de 1, 5 y 15 minutos permanece por debajo de 3 puntos

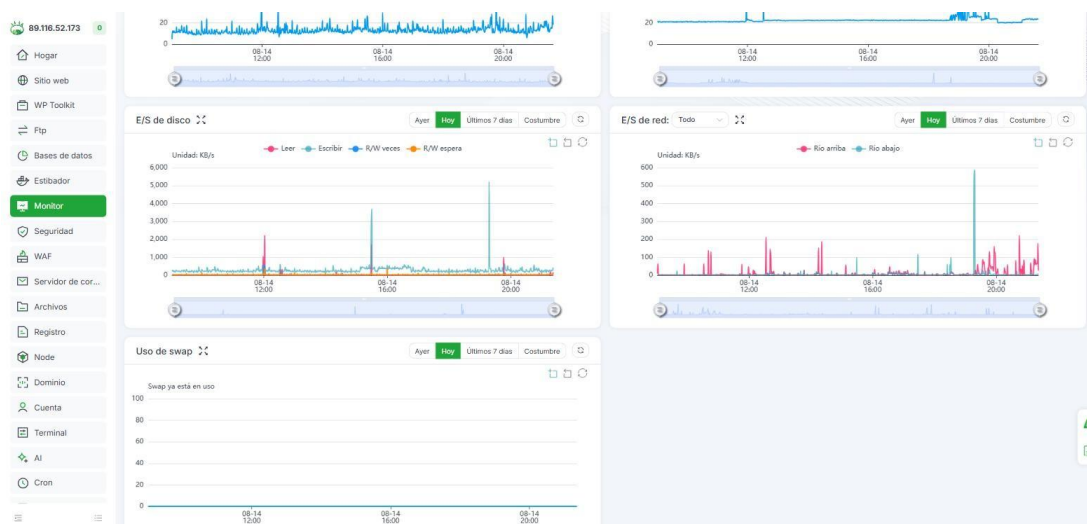


Figura 5.26. Series históricas de entrada/salida de disco, tráfico de red y memoria de intercambio.
 Nota: el panel inferior confirma visualmente que la memoria de intercambio permanece en cero, condición que agrava el riesgo de agotamiento de memoria analizado en la sección 5.3.10.
 Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026 sobre el servidor en producción (Anexo H).

sobre los dos núcleos disponibles a lo largo de toda la ventana capturada. El patrón es, por tanto, de picos aislados y absorbidos, no de una tendencia de saturación progresiva, lo que refuerza sobre una base temporal más amplia la lectura de reposo obtenida en el corte puntual de las Figuras 5.23 y 5.24.

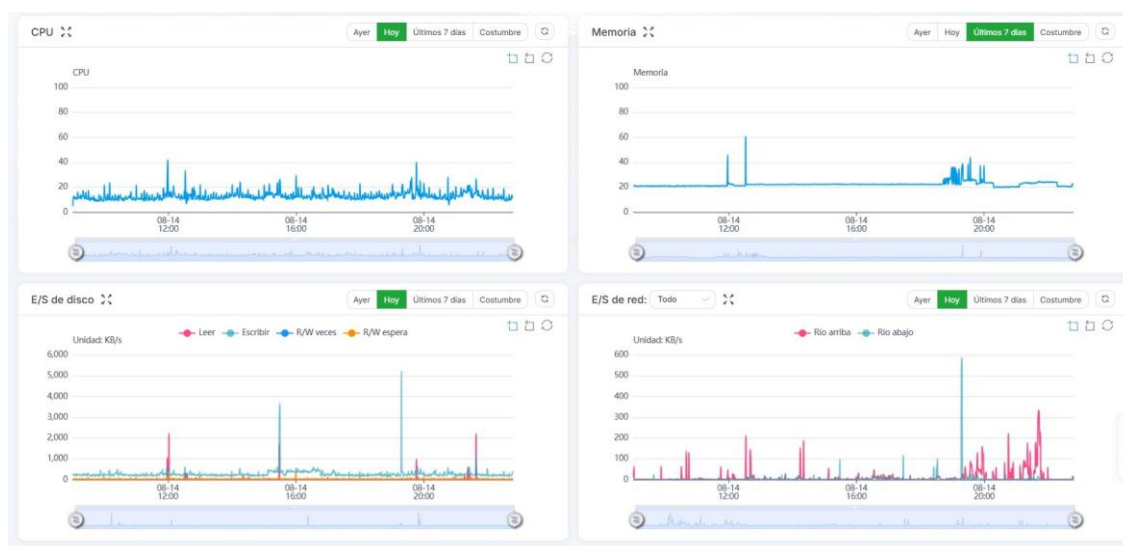


Figura 5.27. Monitor de recursos del panel con la vista extendida habilitada.
 Nota: procesador y memoria sin tendencia de saturación; la entrada/salida de disco y de red presenta picos aislados que no se sostienen en el tiempo.
 Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026 sobre el servidor en producción (Anexo H).

El reparto de la memoria entre los servicios se midió con la métrica de memoria proporcional (PSS), única que admite suma sin contabilizar repetidamente las páginas compartidas, conforme al criterio metodológico declarado en la sección 4.15. El resultado atribuye 924 MB al motor de base de datos, 376 MB al conjunto de los veinte procesos de PHP-FPM, 65 MB al servidor



Figura 5.28. Panel “Monitor del sistema”: retención de la bitácora y promedio de carga.

Nota: retención configurada en 30 días con una bitácora de 3,79 MB; el promedio de carga a 1, 5 y 15 minutos se mantiene por debajo de 3 puntos sobre los dos núcleos del servidor.

Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026 sobre el servidor en producción (Anexo H).

web y 4 MB al almacén de caché, para un total en uso de 1.881 MB y 5.239 MB disponibles. La distribución es coherente con el perfil de un LMS: el motor de datos concentra la mayor reserva por su *buffer pool* preasignado, mientras que la aplicación consume una fracción sensiblemente menor de lo que sugeriría una lectura ingenua de la memoria residente.

Un resultado conceptual que esta sección permite establecer, y que resulta central para interpretar el dimensionamiento de cualquier plataforma educativa, es que **la concurrencia de usuarios, la concurrencia de conexiones a la base de datos y la concurrencia de procesos de aplicación son tres magnitudes distintas y no intercambiables**. Dos mediciones independientes, procedentes de fases distintas del proyecto, respaldan ese principio por separado. Por un lado, la prueba de carga de la Instalación I (sección 5.4) evaluó 60 usuarios concurrentes con un tiempo de respuesta promedio de 1,37 segundos y 0 % de errores. Por otro, la medición de infraestructura de la Instalación II registra un máximo histórico de 21 conexiones simultáneas al motor de datos y 20 procesos de aplicación activos frente a los 100 permitidos por la configuración. Conviene subrayar que estas dos cifras no describen el mismo evento ni guardan entre sí una relación de causa y efecto: corresponden a instalaciones y períodos distintos, y se citan porque coinciden en evidenciar el mismo principio arquitectónico. La consecuencia práctica es que dimensionar un servidor equiparando cada estudiante matriculado con un proceso simultáneo conduce a un sobredimensionamiento considerable, porque la mayor parte del tiempo de una sesión educativa transcurre en lectura de contenidos y no en generación de peticiones.

5.3.9 Comportamiento del motor de base de datos

Los cuatro criterios definidos para evaluar la configuración del motor (sección 4.9.5) se contrastaron contra la configuración efectiva y contra los contadores acumulados de operación. La Tabla 5.10 presenta el resultado.

Tres de los cuatro criterios se verifican satisfechos y uno revela un desajuste. El resultado más concluyente es el de la eficacia de la caché del motor: con 887 lecturas físicas sobre más de cuatrocientos ochenta y tres millones de solicitudes, y ninguna consulta lenta registrada en 378.906.900 consultas acumuladas a lo largo de 2.599.594 segundos de operación (un promedio de 145,76 consultas por segundo), el motor opera esencialmente en memoria. La durabilidad transaccional, por su parte, se encontraba ya en el valor más conservador, decisión pertinente en una plataforma que administra calificaciones y entregas, donde la pérdida de una transacción confirmada resultaría inadmisibles aunque el rendimiento de escritura fuese algo menor.

El desajuste del límite de conexiones no compromete el servicio, pero sí evidencia el margen de mejora de una configuración heredada del instalador. Su corrección tiene, además, un efecto concreto sobre el hallazgo de dimensionamiento del apartado siguiente: cada conexión configurada reserva estructuras de memoria, de modo que alinear este parámetro con la concurrencia real libera memoria en el nodo donde precisamente ese recurso resulta crítico.

La auditoría registró, por último, un contador que no puede presentarse como resultado favorable sin explicación y que este trabajo prefiere declarar antes que omitir: de 329.815 conexiones acumuladas al motor, 259.562 figuran como abortadas (78,7 %). Una tasa de esa magnitud admite tres explicaciones no excluyentes: intentos de acceso automatizados contra el puerto del motor, un componente de la plataforma que abre y cierra conexiones sin completar el protocolo de autenticación, o un tiempo de espera de conexión mal ajustado. Debe subrayarse que el contador es acumulativo desde el último arranque del motor y que no se corresponde con degradación observable alguna: no se registran consultas lentas, la tasa de aciertos es prácticamente total y el máximo de conexiones simultáneas se mantuvo en 21. El dato se reporta, por tanto, como observación pendiente de diagnóstico y se incorpora a las recomendaciones, dado que su esclarecimiento excede el alcance temporal de esta auditoría.

En cuanto a la composición del esquema, las cuatro tablas de mayor tamaño son la bitácora de tareas programadas (11,53 MB), la tabla de personalización de idioma (4,77 MB en 29.891 filas), el registro de archivos (1,72 MB) y la bitácora estándar de actividad (1,35 MB). La segunda de ellas merece mención porque constituye evidencia cuantitativa del componente diferencial del proyecto: las 29.891 filas de personalización lingüística corresponden al trabajo de localización de la interfaz documentado en la sección 4.12.

5.3.10 Dimensionamiento y capacidad: identificación del recurso limitante

Este apartado presenta el hallazgo técnicamente más relevante de la auditoría, y exige comenzar por una corrección metodológica sobre la forma en que suele argumentarse el dimensionamiento de memoria de un servidor de aplicaciones PHP.

La configuración vigente del gestor de procesos, heredada del instalador del panel, es la siguiente (dato *configurado*): modo de gestión `dynamic`, `pm.max_children` en 100, `pm.start_servers`

en 10, pm.min_spare_servers en 10, pm.max_spare_servers en 30, tiempo máximo de terminación de petición en 100 segundos y un memory_limit de PHP de 128 MB por petición. La pregunta que corresponde responder es si el valor de 100 procesos simultáneos guarda proporción con la memoria física del nodo.

La respuesta depende críticamente de qué métrica de memoria se emplee, y aquí es donde el argumento habitual falla. La Tabla 5.11 presenta las tres métricas medidas sobre los veinte procesos de trabajo activos.

La consecuencia es inmediata: un argumento construido sobre la memoria residente sostendría que 100 procesos requerirían del orden de 19,6 GB frente a los 7,75 GiB del servidor, cifra que sobreestima la demanda porque cuenta hasta cien veces unas páginas que existen una sola vez en la memoria física. Un argumento construido sobre la memoria proporcional incurriría en el error opuesto: proyectaría apenas 1,87 GB y concluiría que la configuración es holgada, ignorando que ese valor corresponde a procesos en reposo y no al techo que la configuración permite alcanzar. Ninguna de las dos proyecciones es defendible ante una revisión técnica rigurosa.

El argumento correcto no se construye sobre el consumo observado, sino sobre la cota superior que fija la propia configuración. El parámetro memory_limit determina cuánta memoria puede llegar a solicitar una petición individual antes de que el intérprete la aborta; multiplicado por el número máximo de procesos simultáneos, define la demanda máxima que el sistema admitiría sin intervenir. La Tabla 5.12 desarrolla ese cálculo.

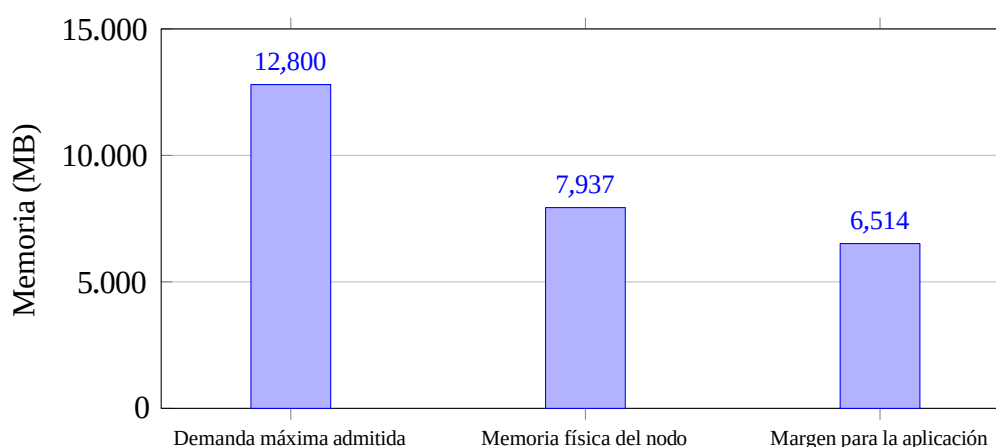


Figura 5.29. Demanda máxima de memoria admitida por la configuración frente a la capacidad del nodo.

Nota: la demanda máxima se obtiene como $\text{memory_limit} \times \text{pm.max_children}$; el margen disponible para la aplicación resulta de descontar de la memoria física la reserva medida del motor de base de datos.

Fuente: elaboración propia a partir de los valores configurados y medidos.

El hallazgo, enunciado con precisión y representado en la Figura 5.29, es que **el límite de procesos concurrentes no está acotado por la capacidad física del nodo**: en el peor caso admitido por la configuración, la aplicación podría demandar 1,61 veces la memoria disponible. Dos precisiones delimitan su alcance y evitan sobreinterpretarlo. La primera es que se trata de un escenario *proyectado* y no observado: la concurrencia real de procesos se ha mantenido en 20 de

los 100 permitidos, y no se registra ningún evento de agotamiento de memoria en el historial del núcleo del sistema. La segunda es que el escenario probado en la Instalación I, con 60 usuarios concurrentes, no llegó a activarlo, precisamente porque la concurrencia de procesos resultó muy inferior a la de usuarios, conforme al principio establecido en la sección 5.3.8.

Lo que convierte este hallazgo en un riesgo real, y no meramente formal, es la ausencia de memoria de intercambio verificada en la sección 5.3.5 y visible en la Figura 5.26. En un servidor con memoria de intercambio configurada, el agotamiento de la memoria física produce una degradación progresiva del rendimiento que da margen para intervenir. Sin ella, el núcleo del sistema no dispone de esa transición: activa su mecanismo de terminación por falta de memoria y finaliza procesos, típicamente el motor de base de datos o el gestor de procesos de la aplicación, con caída inmediata del servicio. La conclusión operativa es doble y se traslada a las recomendaciones: acotar `pm.max_children` a 50 procesos, valor que ajusta la cota superior a la capacidad real del nodo, y evaluar la habilitación de un área de intercambio como red de contención.

De este apartado se desprende el resultado de dimensionamiento más importante del proyecto: **en esta arquitectura el recurso limitante es la memoria y no el procesador**. El procesador opera entre el 8 % y el 52 % con una carga promedio de 0,27 sobre dos núcleos, y absorbe la variabilidad de la demanda sin aproximarse a la saturación; la memoria, en cambio, es el recurso cuya reserva configurada excede la capacidad física y cuyo agotamiento no admite degradación gradual. Cualquier decisión futura de ampliación del plan contratado debe, en consecuencia, priorizar la memoria sobre los núcleos de procesamiento.

5.3.11 Escalabilidad: mecanismo disponible y alcance no ejecutado

El criterio (6) de selección del proveedor exigía escalabilidad vertical sin migración, y el rigor obliga aquí a una formulación precisa. Lo verificado es que **el plan contratado dispone del mecanismo**: el proveedor ofrece la ampliación de núcleos virtuales, memoria y disco sobre la misma instancia, sin reinstalación de la plataforma ni cambio de dirección de red, y sin las restricciones que impondría un plan de recursos fijos. Lo que este trabajo **no** verificó es la ejecución de un escalamiento real, que no formó parte del alcance experimental por dos razones: implica un costo recurrente mayor que la institución no tiene motivo de asumir mientras el consumo se mantenga en los márgenes medidos, y exige una ventana de indisponibilidad programada sobre una plataforma en uso académico.

En consecuencia, no cabe afirmar que se comprobó la escalabilidad vertical del servidor; cabe afirmar únicamente que se verificó la disponibilidad de un mecanismo de escalabilidad vertical ofrecido por la infraestructura. La sección 5.3.10 aporta, además, el criterio con el que esa ampliación debería decidirse llegado el caso: el recurso a ampliar es la memoria, y el umbral de decisión es el consumo sostenido y no el pico puntual.

5.3.12 Disponibilidad, respaldo y recuperación

La palabra “disponibilidad” designa en la literatura de infraestructura tres propiedades distintas que conviene no fundir en una sola afirmación, porque este proyecto satisface dos de ellas y no la tercera. La Tabla 5.13 las separa.

La formulación que este trabajo sostiene es, en consecuencia, la siguiente: la arquitectura Cloud implementada proporciona disponibilidad operativa y capacidad de recuperación, pero no constituye una arquitectura de alta disponibilidad, dado que el servicio se concentra en un único nodo. Reconocerlo no debilita el resultado sino que lo delimita, y resulta coherente con la decisión de proporcionalidad documentada en la sección 4.9.8: incorporar redundancia habría exigido un segundo nodo con su costo y su administración, desproporcionados frente a la demanda real y a la capacidad operativa de la institución.

Corresponde añadir una precisión sobre el alcance de la primera fila. El tiempo de operación continua es un dato medido y verificable, pero documenta que el sistema operativo no se reinició, no que el servicio web haya respondido ininterrumpidamente a cada petición durante ese período. Instrumentar esta última afirmación exigiría un servicio externo de comprobación periódica, cuya ausencia ya se declaró como límite del esquema de monitoreo (sección 4.10.8) y cuya incorporación se mantiene en las recomendaciones.

Sostenibilidad del esquema de respaldo. La medición del esquema de respaldo corrige una afirmación de dimensionamiento contenida en la planificación inicial, y el resultado corregido es más preciso sin dejar de ser un hallazgo válido. La Tabla 5.14 presenta el volumen real de cada componente.

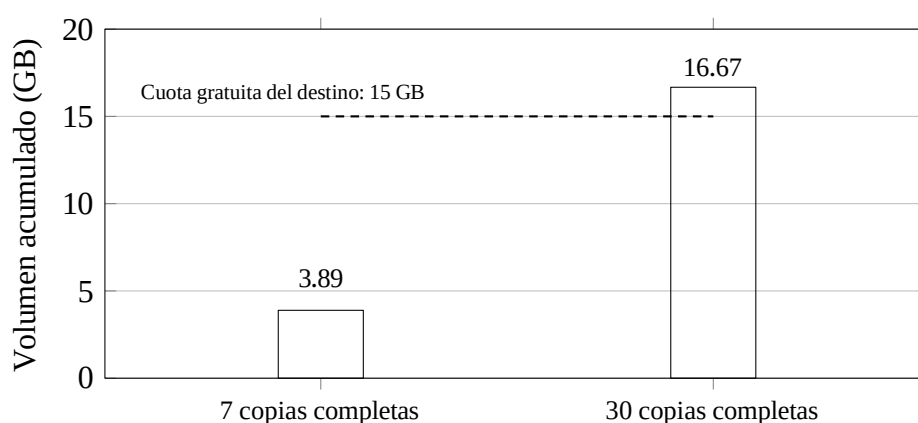


Figura 5.30. Ocupación proyectada del almacenamiento externo según la política de retención.

Nota: proyección calculada sobre un respaldo completo medido de 569 MB. La restricción de sostenibilidad la impone el número de copias conservadas y no el tamaño de cada copia.

Fuente: elaboración propia.

La lectura correcta de estos datos, que la Figura 5.30 representa gráficamente, es la siguiente. Con el volumen actual, el esquema de respaldo **no satura** la cuota gratuita del destino: siete copias

completas ocupan 3,89 GB, esto es, el 25,9 % de los 15 GB disponibles. La restricción existe, pero se ubica en un lugar distinto del que la planificación inicial había supuesto: con la retención de 30 días que el panel conserva efectivamente, el volumen proyectado asciende a 16,67 GB y supera la cuota en un 11 %. El enunciado defendible es, por tanto, que **la política de retención, y no el tamaño del respaldo, constituye la restricción de sostenibilidad del esquema**. La observación conserva así su valor y gana precisión: obliga a decidir explícitamente cuántas copias conservar, decisión que además deberá revisarse conforme moodledata crezca con las entregas de los estudiantes, único componente del respaldo que escala con el uso académico.

La programación efectiva de las tareas de respaldo se reproduce en la Figura 5.31. La auditoría verificó, junto a ella, la existencia de tres tareas programadas adicionales en el sistema: la ejecución de la tarea interna de Moodle cada minuto, la renovación automática del certificado de transporte a las 21:22 y el respaldo diario de las bases de datos a la 01:30.

Nombre	Estado	Ciclo de ejecución	Número de guardados	Respaldo a	Último tiempo de ejecución	Funciones
Moodle Cron - campus	Comenzó	A partir del minuto 0 de cada hora, ejecute cada 1 minutos	...	...	2026-07-23 23:13:21	Ejecutar, Editar, Registro, Borrar
Domain SSL Renew Let's Encrypt Certificate	Comenzó	Ejecutar una vez al día para 21:22	...	Local Disk	2026-07-23 21:22:10	Ejecutar, Editar, Registro, Borrar

Figura 5.31. Tarea programada de respaldo diario configurada en el panel de administración.

Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsf.edu.ec.

5.3.13 Seguridad de la infraestructura

La seguridad se verificó por capas, criterio que permite distinguir qué protege cada control y, sobre todo, identificar dónde la protección descansa en una sola barrera. La Tabla 5.15 presenta la matriz resultante, cuyas reglas de cortafuegos coinciden exactamente con las que el panel de administración declara (Figura 5.32), coincidencia que no es trivial: acredita que las dos vías de administración disponibles, la consola y el panel, operan sobre el mismo conjunto de reglas y no sobre configuraciones divergentes.

La Figura 5.33 exige una nota de conciliación, porque una lectura apresurada podría interpretarla como una contradicción con la matriz anterior. El panel reporta su propio módulo de bloqueo por fuerza bruta como no instalado, mientras que la Tabla 5.15 declara ese control activo con un historial de veinte direcciones bloqueadas. No hay contradicción: se trata de dos componentes distintos. El panel ofrece un módulo propio, integrado a su interfaz, que efectivamente no se

Protocolo	Puerto	Estado	Estrategia	Dirección	IP de origen	Observaciones	Acciones
tcp	22	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	Servicio remoto SSH	Editar Borrar
tcp	80	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	Puerto predeterminado...	Editar Borrar
tcp	443	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	...	Editar Borrar
tcp	887	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	...	Editar Borrar
udp	887	Escuchando	Permitir	Entrante	Todo	...	Editar Borrar
tcp	8888	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	...	Editar Borrar
tcp	888	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	Nuevo puerto de Php...	Editar Borrar
tcp	22 (ipv6)	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	Servicio remoto SSH	Editar Borrar
tcp	80 (ipv6)	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	Puerto predeterminado...	Editar Borrar
tcp	443 (ipv6)	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	...	Editar Borrar
tcp	887 (ipv6)	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	...	Editar Borrar
udp	887 (ipv6)	Escuchando	Permitir	Entrante	Todo	...	Editar Borrar
tcp	8888 (ipv6)	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	...	Editar Borrar
tcp	888 (ipv6)	Escuchando (Detalles)	Permitir	Entrante	Todo	Nuevo puerto de Php...	Editar Borrar

Figura 5.32. Reglas de puerto activas en el cortafuegos del panel de administración.

Nota: 14 reglas correspondientes a los puertos 22, 80, 443, 887, 888 y 8888 en IPv4 e IPv6, coincidentes con las verificadas por consola.

Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026 sobre el servidor en producción (Anexo H).

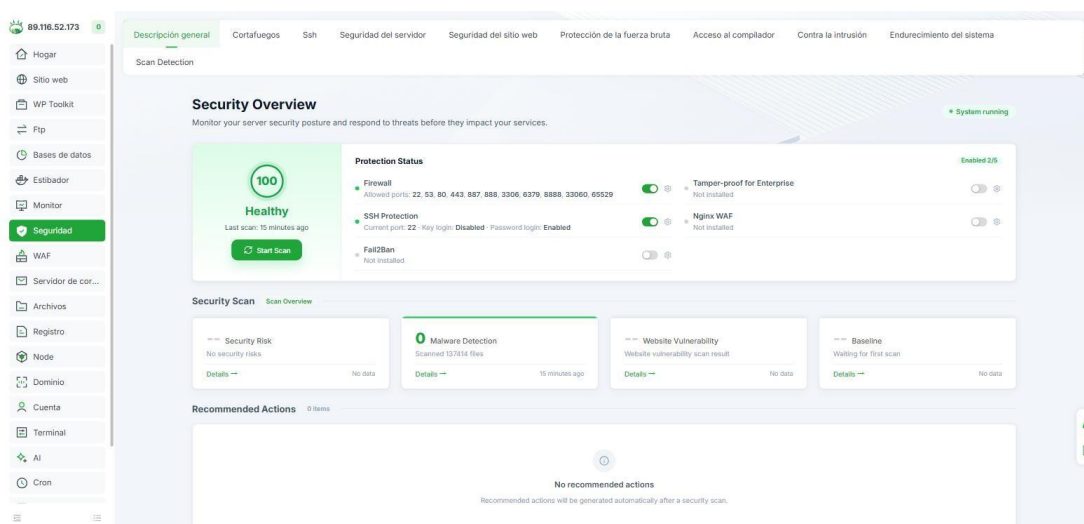


Figura 5.33. Resumen de seguridad del panel de administración.

Nota: cortafuegos activo, ausencia de riesgos y de código malicioso tras el análisis de 137.414 archivos, y acceso remoto con autenticación por contraseña habilitada, hallazgo coincidente con la verificación por consola.

Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026 sobre el servidor en producción (Anexo H).

instaló por ser redundante; el control que sí está operando es el servicio equivalente del sistema operativo, instalado y verificado de forma independiente mediante consulta directa al gestor de servicios, y es de él de donde proceden los contadores citados. La protección, por tanto, está vigente; lo que el panel informa es únicamente que no la administra él.

La misma figura confirma visualmente, en cambio, una debilidad real: el acceso remoto por consola segura admite autenticación por contraseña. Este y otros dos hallazgos se declaran a continuación como limitaciones, criterio que este trabajo considera más sólido que omitirlos:

- **Acceso administrativo directo como superusuario.** La configuración del servicio de acceso remoto mantiene habilitado el inicio de sesión directo con la cuenta de superusuario mediante contraseña. Es precisamente el vector que el servicio de bloqueo por fuerza bruta está conteniendo, según acredita su historial de intentos fallidos. La decisión de no deshabilitarlo en esta fase, y su justificación operativa, se documentaron en la sección 4.10.7.
- **Permisos excesivos del directorio de datos.** El directorio moodledata presenta permisos 777, esto es, lectura, escritura y ejecución para cualquier usuario del sistema, cuando lo recomendado es un valor restrictivo (750 o 770) con propiedad del usuario del servidor web. Debe precisarse el alcance real del hallazgo: el directorio permanece fuera de la ruta web pública y no es alcanzable por HTTP, de modo que el riesgo no proviene de Internet sino de un eventual proceso local comprometido. La corrección es de bajo costo y se traslada a las recomendaciones.
- **Puerto de administración del panel accesible desde cualquier origen.** El puerto 8888 admite conexiones sin restricción de origen, mitigado únicamente por la ruta de acceso personalizada y las credenciales del panel. La restricción por dirección de origen se mantiene en las recomendaciones, condicionada, por la razón operativa expuesta en la sección 4.10.7, a disponer previamente de una vía de acceso alternativa verificada.

El balance de seguridad es, en consecuencia, favorable en las capas de transporte, red y datos, y presenta tres debilidades concentradas en la capa de acceso administrativo. Ninguna de ellas resulta explotable desde la red pública sin superar antes un control activo, pero las tres reducen la profundidad de la defensa y las tres admiten corrección sin costo económico.

5.3.14 Continuidad operativa del procesamiento asincrónico

El resultado de continuidad más directamente vinculado a la pregunta de investigación no es el tiempo de operación del servidor, sino el funcionamiento ininterrumpido del motor de tareas programadas de Moodle, componente del que dependen las notificaciones, los recordatorios de cierre, el procesamiento de colas y las tareas internas de mantenimiento. Sin él, la plataforma seguiría publicando contenidos pero dejaría de gestionar los procesos que ocurren *entre* las intervenciones de docentes y estudiantes, que es exactamente donde reside la gestión asincrónica.

La consulta a la bitácora interna de la plataforma arroja **26.452 ejecuciones registradas con cero fallos**, con periodicidad de un minuto y última ejecución el 14 de agosto de 2026 a las 21:18:01 (dato medido). Ninguna de las tareas internas verificadas (procesamiento de tareas entregadas, asignación de talleres, limpieza de eventos, recepción de mensajes) registra resultado distinto de correcto. Se trata del indicador de automatización más sólido de todo el trabajo: no describe una capacidad declarada sino un comportamiento sostenido durante treinta días consecutivos sin intervención humana.

La auditoría confirmó asimismo la integridad del entorno de aplicación sobre el que esa continuidad se apoya: 4.860 archivos registrados en el catálogo de la plataforma sin inconsistencias, 5.822 eventos en la bitácora de actividad entre el 15 de julio y el 14 de agosto de 2026, y dos idiomas de interfaz instalados y operativos, el español y el kichwa. Este último dato merece subrayarse en un capítulo de resultados de infraestructura porque acredita que el componente diferencial del proyecto no es una declaración de intenciones sino una propiedad verificable del sistema desplegado: el paquete de idioma kichwa amazónico (código qvo) se encuentra instalado en el servidor de producción, con sus cadenas persistidas en la base de datos, junto con el complemento de tipo de calendario desarrollado específicamente para traducir meses y días, elemento que Moodle no permite localizar por los medios estándar. El proceso de construcción de ambos se documenta en la sección 4.12, y el uso efectivo de la interfaz localizada, en la sección 5.4.5.

5.3.15 Eficiencia económica de la infraestructura Cloud

El desembolso monetario del primer año, de 182,78 USD según los comprobantes del Anexo G y verificado en la sección 5.3.4, admite expresarse como indicadores unitarios que facilitan la comparación con alternativas y la proyección presupuestaria institucional. La Tabla 5.16 los presenta.

Los denominadores de 248 y 240 usuarios corresponden a la población institucional de la fase piloto documentada (sección 5.7), de modo que estos indicadores deben leerse como una razón de eficiencia calculada sobre esa población y no como un precio comercial por usuario ni como una cifra de la instalación vigente. Con esa salvedad, el orden de magnitud es elocuente: sostener el acceso de un estudiante al entorno virtual durante un año lectivo completo cuesta a la institución menos de un dólar.

A este desembolso debe contraponerse el costo evitado, que no aparece en ninguna factura pero condiciona la decisión de arquitectura. Un servidor alojado en la propia unidad educativa habría exigido inversión inicial en equipo, acondicionamiento del recinto con control de temperatura y seguridad física, respaldo eléctrico mediante sistema de alimentación ininterrumpida, consumo eléctrico permanente, mantenimiento y personal técnico dedicado, ninguno de los cuales figura en el modelo adoptado por estar incluidos en el servicio contratado. Y por encima del costo, la condición determinante identificada en el diagnóstico era la intermitencia del suministro eléctrico en la franja vespertina, precisamente aquella en que se concentra el uso asincrónico: los treinta días de operación continua verificados en la sección 5.3.5 constituyen la evidencia de que trasladar el servidor fuera de la institución resolvió efectivamente esa restricción, que ninguna inversión local de magnitud comparable habría podido resolver.

5.3.16 Síntesis: diseñado frente a obtenido

La Tabla 5.17 consolida el conjunto de resultados de la capa Cloud, contrastando cada meta de diseño con el resultado obtenido. Las filas de concurrencia y tiempo de respuesta corresponden a la Instalación I y así se identifican; las restantes, a la medición de infraestructura de la Instalación II.

De las veintidós filas, quince se cumplen, dos se cumplen parcialmente, cuatro no se cumplen y una se declara como riesgo. La distribución no es casual: los incumplimientos se concentran de manera casi exclusiva en decisiones de configuración heredadas del instalador del panel o pospuestas por prudencia operativa, ninguna de las cuales exige inversión económica para corregirse, mientras que los criterios verificados por medición del comportamiento del sistema se cumplen sin excepción. Esa distribución es en sí misma un resultado: la infraestructura contratada resultó suficiente para el propósito, y el margen de mejora restante es de administración y no de capacidad.

5.3.17 De la infraestructura a la gestión de actividades asincrónicas

Cerrar esta sección afirmando que el servidor funcionó sería quedarse por debajo de lo que la evidencia permite sostener, y también por debajo de lo que la pregunta de investigación exige. Lo que los resultados anteriores documentan es una cadena de condiciones encadenadas, en la que cada capa habilita a la siguiente y cuya última consecuencia es, precisamente, la posibilidad de gestionar actividades académicas de forma asincrónica. La Figura 5.34 representa esa cadena con la evidencia que sostiene cada eslabón.

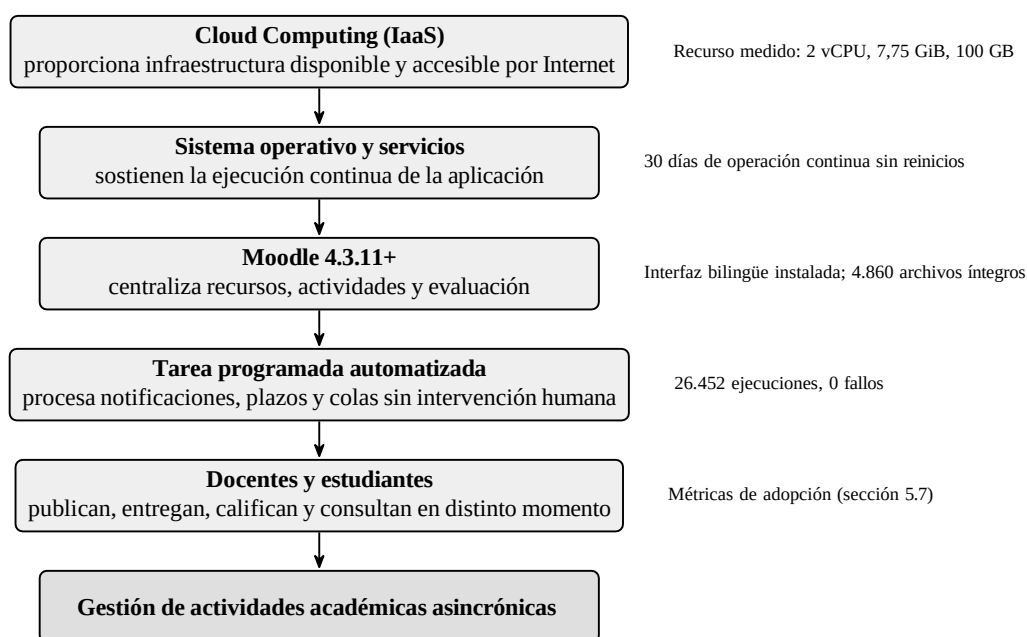


Figura 5.34. Cadena de condiciones entre la infraestructura Cloud y la gestión asincrónica.

Nota: cada eslabón se acompaña de la evidencia medida que lo sostiene.

Fuente: elaboración propia.

El argumento que la evidencia sostiene puede formularse así: la infraestructura Cloud no solo estuvo disponible, sino que sostuvo de forma ininterrumpida durante treinta días una aplicación educativa cuyo motor de tareas programadas ejecutó 26.452 procesos sin un solo fallo, condición técnica necesaria para que la gestión asincrónica de actividades sea posible. Es una condición necesaria y no suficiente: que la plataforma procese los plazos y las notificaciones sin intervención humana no garantiza por sí mismo que docentes y estudiantes la utilicen, extremo que corresponde acreditar a las métricas de adopción y no a esta sección. Pero sin esa condición, ninguna gestión asincrónica sería posible, y es exactamente eso lo que la capa Cloud aporta a la solución.

Corresponde añadir, por último, el elemento que distingue a esta implementación de cualquier otro despliegue de Moodle sobre infraestructura contratada. La plataforma opera en kichwa: no mediante una traducción parcial heredada de la comunidad, sino con un paquete de idioma construido para la variante amazónica y con un complemento de tipo de calendario desarrollado específicamente para este proyecto, que traduce los nombres de meses y días que Moodle no permite localizar por los medios estándar. Ese componente reside en el mismo servidor auditado, se sirve a través de la misma pila verificada y se respalda con el mismo esquema medido en esta sección. La infraestructura Cloud es, en ese sentido, lo que hace que una plataforma educativa en lengua de la nacionalidad pueda existir de forma permanente y accesible, en una institución que no dispone de servidores propios ni de suministro eléctrico estable.

Tabla 5.7. Verificación de los ocho criterios de selección del proveedor frente a la evidencia obtenida, con indicación del método de verificación empleado.

Criterio de diseño	Evidencia verificada	Método de verificación
(1) Virtualización dedicada (KVM)	Virtualización KVM con hipervisor QEMU y virtualización completa, confirmada por el propio sistema operativo; permite administración del núcleo y de los servicios sin las restricciones de un entorno compartido.	Medición sobre el servidor (Tabla 5.6)
(2) Relación costorecursos	Recursos aprovisionados y en operación (2 vCPU, 7,75 GiB de RAM, 100 GB de disco de estado sólido y 8 TB de transferencia mensual) frente a un desembolso de 117,48 USD por el primer año de servicio.	Medición sobre el servidor y comprobante de pago (Anexo G)
(3) Latencia hacia Ecuador	Centro de datos de Boston seleccionado por reportar la menor latencia estimada (105 ms) entre las diez alternativas ofrecidas, incluida la de Brasil.	Comparativa del proveedor al momento de la contratación (Tabla 4.9)
(4) Administración mediante panel gráfico	aaPanel 8.0.4 operativo, administrando visualmente sitios, bases de datos, certificados, cortafuegos, tareas programadas y monitor histórico de recursos con 30 días de retención.	Constatación operativa y capturas del panel (Figuras 5.5 y 5.25)
(5) Respaldo automatizado	Tarea programada de respaldo verificada en ejecución diaria, con 30 copias efectivamente conservadas en el servidor y restauración controlada completada en menos de 15 minutos.	Medición del directorio de respaldos y prueba de restauración (Tablas 5.14 y 5.19)
(6) Escalabilidad vertical sin migración	Mecanismo de ampliación de vCPU, memoria y disco disponible en el plan contratado sin reinstalación de la plataforma. Su ejecución no formó parte del alcance experimental.	Documentación del proveedor; véase la salvedad de la sección 5.3.11
(7) Soporte y documentación en español	Ciclo completo de despliegue, endurecimiento, operación y auditoría resuelto en autogestión, sin que ninguna incidencia requiriera escalamiento al soporte técnico del proveedor durante el período documentado.	Constatación operativa; procedimiento registrado (sección 4.11)
(8) Estabilidad y transparencia de precios	Desembolso real del primer año consistente con el rango de precios de lista consultado; ahorro recurrente del 60 al 66 % frente a la alternativa comercial equivalente.	Comprobantes de pago y precios de lista (Tabla 5.28)
<i>Verificaciones complementarias del comportamiento de la infraestructura desplegada</i>		
Estabilidad del nodo	30 días y 3 horas de operación continua sin reinicios.	Medición sobre el servidor (sección 5.3.5)
Eficiencia del motor de datos	Tasa de aciertos del <i>buffer pool</i> del 99,999817 %, sin consultas lentas registradas.	Contadores acumulados del motor (Tabla 5.10)
Seguridad del transporte	TLS 1.2 y 1.3 admitidos, TLS 1.0 y 1.1 rechazados, HSTS con vigencia de un año y redirección permanente a HTTPS.	Negociación directa de protocolo e inspección de cabeceras (Tabla 5.15)
Protección contra fuerza bruta en operación	Jaula sshd activa, con 144 intentos de autenticación fallidos acumulados y 20 direcciones bloqueadas.	Consulta al servicio de bloqueo (Tabla 5.15)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.8. Estado verificado de la capa de servicios sobre el servidor en producción.

Servicio	Versión	Estado	Función y observación
Nginx	1.24.0	Activo, 4 procesos de trabajo	Servidor web y terminación del transporte cifrado para los tres sitios alojados
PHP-FPM	8.2.31	Activo, 20 procesos de trabajo	Ejecución de la aplicación, con caché de código compilado (OPcache) habilitada
MySQL	8.0.45 Community	Activo	Motor de datos del campus virtual y del portal institucional
Redis	6.0.16	Activo	Instalado y en ejecución, pero no integrado con Moodle : la aplicación no lo tiene declarado como almacén de sesiones ni de caché
fail2ban	—	Activo	Bloqueo automático de direcciones tras intentos de autenticación fallidos; una jaula configurada (sshd)
cron	—	Activo	Ejecución de la tarea programada de Moodle cada minuto y de las tareas de respaldo y renovación de certificados

Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026.

Tabla 5.9. Consumo de recursos del servidor en operación normal (14 de agosto de 2026, 21:20).

Recurso	Valor medido	Categoría
Uso de procesador (toma en reposo)	8 %	Medido
Uso de procesador (toma en actividad)	52 %	Medido
Carga promedio del sistema (1/5/15 min)	0,27 / 0,32 / 0,35	Medido
Memoria en uso	1,86–2,12 GB de 7,75 GB (24–27 %)	Medido
Memoria disponible	5,24 GB	Medido
Memoria de intercambio en uso	0 MB (no configurada)	Medido
Ocupación de disco	10,5 GB de 96,7 GB (11 %)	Medido

Fuente: monitor del panel de administración y lectura directa del sistema.

Tabla 5.10. Verificación de la configuración del motor de base de datos frente a los criterios de diseño.

Criterio	Valor verificado	Contraste con el criterio
Conjunto de trabajo alojado en el <i>buffer pool</i>	<i>Buffer pool</i> de 512 MB frente a una base de datos de 33,27 MB en 483 tablas	Satisfecho con amplitud: de las 32.768 páginas del <i>buffer pool</i> , solo 9.793 contienen datos y 19.549 permanecen libres, de modo que la totalidad del esquema reside en memoria con margen sobrante.
Eficacia efectiva de la caché del motor	887 lecturas físicas a disco sobre 483.489.187 solicitudes (tasa de aciertos del 99,999817 %)	Satisfecho: el motor resuelve prácticamente la totalidad de las lecturas en memoria. El resultado adquiere mayor peso al considerar que la caché externa no está integrada (sección 5.3.7): el motor absorbe por sí solo toda la presión de lectura y aun así no constituye un factor limitante.
Coherencia entre conexiones y procesos	Límite de 500 conexiones frente a un máximo histórico de 21 conexiones simultáneas y 5 activas al momento de la medición	No satisfecho: el límite heredado del instalador excede en casi veinticuatro veces la demanda máxima registrada, por lo que reserva estructuras de memoria por conexión que no llegan a utilizarse, en un nodo donde la memoria es el recurso limitante.
Durabilidad transaccional conservadora	<code>innodb_flush_log_at_trx_commit</code> en valor 1	Satisfecho: configuración de máxima durabilidad, que confirma cada transacción en disco antes de darla por completada, en coherencia con la naturaleza de la información gestionada (calificaciones y entregas).

Fuente: consulta directa al servidor MySQL en producción, 14 de agosto de 2026.

Tabla 5.11. Consumo de memoria por proceso de PHP-FPM según las tres métricas disponibles (20 procesos medidos).

Métrica	Valor promedio	Interpretación
Memoria residente (RSS)	195,7 MB	No sumable: contabiliza en cada proceso la totalidad de las páginas compartidas (binario del intérprete, caché de código compilado, bibliotecas del sistema)
Memoria proporcional (PSS)	18,7 MB	Memoria real atribuible a cada proceso una vez repartidas las páginas compartidas entre quienes las usan; suma 374 MB en los 20 procesos
Memoria exclusiva (USS)	5,8 MB	Coste incremental efectivo de añadir un proceso adicional al <i>pool</i>

Fuente: lectura directa de las tablas de memoria de cada proceso.

Tabla 5.12. Cota superior de demanda de memoria admitida por la configuración vigente frente a la capacidad física del nodo.

Elemento	Valor	Categoría
memory_limit de PHP por petición	128 MB	Configurado
pm.max_children	100 procesos	Configurado
Demanda máxima teórica de la aplicación	12.800 MB	Proyectado
Memoria física del nodo	7.937 MB	Medido
Memoria reservada por el motor de base de datos	924 MB	Medido
Margen real disponible para la aplicación	≈ 6.514 MB	Proyectado
Relación demanda máxima / capacidad disponible	1,61×	Proyectado
Techo seguro de pm.max_children	50 procesos	Proyectado

Fuente: elaboración propia a partir de los valores configurados y medidos.

Tabla 5.13. Los tres conceptos de disponibilidad y su estado verificado en la arquitectura implementada.

Concepto	Pregunta que responde	Estado verificado
Disponibilidad operativa	¿El servicio estuvo accesible durante el período?	Demostrada: 30 días y 3 horas de operación continua sin reinicios, con los servicios de la pila activos y habilitados para arranque automático.
Recuperabilidad	¿Puede restaurarse el servicio tras una falla?	Demostrada: respaldo diario verificado en ejecución y restauración controlada completada en menos de 15 minutos (Tabla 5.19).
Alta disponibilidad	¿El servicio sigue operando de forma automática si falla un componente?	No implementada: nodo único, sin balanceador, sin réplica del motor de datos, sin redundancia geográfica y sin conmutación automática por error.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.14. Volumen real de los componentes a respaldar y proyección de ocupación sobre la cuota gratuita de 15 GB del destino externo.

Componente / escenario	Valor	Categoría
Código de la aplicación Moodle	425 MB	Medido
Directorio de datos moodledata	111 MB	Medido
Base de datos	33 MB	Medido
Respaldo completo (suma)	569 MB	Medido
Directorio de respaldos en el servidor	594 MB	Medido
Copias diarias del panel conservadas	30 copias × 11 MB = 310 MB	Medido
Retención de la copia de base de datos	Diaria a la 01:30, 3 copias	Configurado
7 copias completas retenidas	3,89 GB (25,9 % de la cuota)	Proyectado
30 copias completas retenidas	16,67 GB (111,1 % de la cuota)	Proyectado
Copias completas que caben en la cuota	26	Proyectado

Fuente: medición directa sobre el servidor, 14 de agosto de 2026.

Tabla 5.15. Matriz de seguridad de la infraestructura por capa, con el control verificado y su resultado.

Capa	Control verificado	Resultado
Transporte	Certificado del campus virtual	Let's Encrypt, emitido para campus.uecibsf.edu.ec, vigente del 16 de julio al 14 de octubre de 2026, con renovación automática programada
Transporte	Protocolos admitidos	TLS 1.0 y TLS 1.1 rechazados ; TLS 1.2 y TLS 1.3 admitidos
Transporte	Cabeceras de seguridad	HSTS activo con vigencia de un año; X-Frame-Options en sameorigin; redirección permanente (301) de HTTP a HTTPS
Red	Cortafuegos del sistema	Activo, con política por omisión de denegación de todo tráfico entrante; 14 reglas de puerto declaradas (22, 80, 443, 887, 888 y 8888, en IPv4 e IPv6)
Red	Exposición del motor de datos	Puerto 3306 no expuesto : bloqueado por la política de denegación por omisión del cortafuegos
Acceso	Bloqueo por fuerza bruta	Servicio fail2ban activo con una jaula (sshd): 144 intentos fallidos acumulados y 20 direcciones bloqueadas; 26 intentos fallidos en la bitácora vigente
Aplicación	Aislamiento del directorio de datos	moodledata ubicado fuera de la raíz web; el acceso por HTTP devuelve error 404
Aplicación	Filtración por el archivo de configuración	La petición a config.php devuelve 0 bytes: el intérprete lo ejecuta y no expone credenciales
Datos	Privilegios del usuario de base de datos	Limitados a su propio esquema, sin privilegios administrativos globales

Fuente: auditoría técnica del 14 de agosto de 2026.

Tabla 5.16. Indicadores unitarios de eficiencia económica de la infraestructura implementada.

Indicador	Cálculo	Resultado
Costo mensual efectivo	182,78 / 12	15,23 USD/mes
Costo por usuario y año	182,78 / 248	0,74 USD
Costo por estudiante y año	182,78 / 240	0,76 USD
Costo por GB de memoria y mes	15,23 / 8	1,90 USD
Costo por núcleo virtual y mes	15,23 / 2	7,62 USD

Fuente: elaboración propia a partir del presupuesto ejecutado (Tabla 4.29).

Tabla 5.17. Síntesis de los resultados de Cloud Computing: meta de diseño frente a resultado obtenido.

Criterio	Meta de diseño	Resultado obtenido	Cumple	Interpretación
Núcleos de procesamiento	2 vCPU	8 % en reposo, 52 % en actividad	Sí	Margen amplio de procesamiento
Memoria	8 GB	1,86–2,12 GB en uso (24–27 %)	Sí	Recurso a vigilar por el límite de procesos
Memoria de intercambio	—	0 MB	Riesgo	Sin amortiguador ante agotamiento
Almacenamiento	100 GB	10,5 GB usados (11 %)	Sí	Holgura para crecimiento
Operación continua	Servicio permanente	30 días sin reinicios	Sí	Estabilidad demostrada
Concurrencia (Inst. I)	60 usuarios	60 usuarios	Sí	Prueba piloto documentada
Tiempo de respuesta (Inst. I)	≤ 3 s	1,37 s promedio	Sí	Prueba piloto documentada
Percentil 95 (Inst. I)	≤ 4 s	1,56 s	Sí	Prueba piloto documentada
Tasa de errores (Inst. I)	0 %	0 %	Sí	Prueba piloto documentada
Conexiones al motor de datos	≤ 500	Máximo histórico de 21	Sí	Concurrencia de conexiones muy inferior a la de usuarios
Aciertos del <i>buffer pool</i>	> 95 %	99,999817 %	Sí	Casi toda lectura servida desde memoria
Consultas lentas	0	0	Sí	Sin cuellos de botella en el motor
Tarea programada de Moodle	Ejecución continua	26.452 ejecuciones, 0 fallos	Sí	Automatización verificada
Tiempo de recuperación	< 15 min	< 15 min	Sí	Restauración verificada
Respaldo	Diario	Diario, 30 copias conservadas	Parcial	La retención supera la cuota gratuita
Transporte cifrado	Calificación A o superior	TLS 1.2/1.3, HSTS de un año, calificación A+	Sí	TLS 1.0 y 1.1 deshabilitados
Cortafuegos	Activo	Denegación por omisión y bloqueo por fuerza bruta	Sí	20 direcciones bloqueadas
Caché externa	Integrada con Moodle	Instalada, no integrada	No	Margen de mejora declarado
Acceso administrativo como superusuario	Deshabilitado	Habilitado	No	Limitación declarada
Permisos del directorio de datos	Restringidos	777	No	Limitación declarada
Escalabilidad	Vertical	Mecanismo disponible, no ejecutado	Parcial	Fuera del alcance experimental
Alta disponibilidad	—	Nodo único	No implementada	Limitación arquitectónica declarada

Fuente: elaboración propia.

5.4 Pruebas de funcionamiento

Conforme lo exige la normativa institucional para propuestas tecnológicas con implementación, se definió un plan de pruebas de funcionamiento orientado a verificar los cuatro aspectos críticos de la plataforma: el comportamiento bajo carga concurrente, la recuperabilidad de la información, el canal de correo saliente y la seguridad del transporte. Los resultados esperados de cada prueba se derivan del dimensionamiento (sección 4.9) y de las políticas establecidas en la implementación.

5.4.1 Prueba de carga y concurrencia

Verifica que el servidor soporte el pico de concurrencia proyectado (20 % de la capacidad máxima de diseño de 300 estudiantes, es decir, 60 usuarios simultáneos; equivalente al 25 % de los 240 estudiantes efectivamente matriculados) sin degradación del servicio, mediante la simulación de usuarios concurrentes realizando acciones típicas del modelo asíncrono (Tabla 5.18).

Tabla 5.18. Resultados de la prueba de carga y concurrencia.

Escenario	Método	Resultado esperado	Resultado obtenido
60 usuarios concurrentes (pico máximo proyectado)	Plan de prueba en Apache JMeter 5.6.2 con 60 hilos, rampa de 60 s, una iteración por hilo y <i>think times</i> uniformes de 3 a 5 s, ejecutando el flujo login → curso → contenidos → calificaciones → cierre de sesión	Tiempo de respuesta promedio ≤ 3 s; percentil 95 ≤ 4 s; 0 errores HTTP 5xx; CPU ≤ 85 %; memoria disponible > 500 MB	Promedio: 1,37 s; p95: 1,56 s; máximo: 4,50 s; 300 transacciones; 0 errores (0,00 %); CPU pico: 45 %; memoria disponible: 1,2 GB

Fuente: elaboración propia a partir del reporte de Apache JMeter 5.6.2 sobre el escenario de 60 usuarios concurrentes.

Procedimiento de ejecución: Thread Group de 60 hilos con *ramp-up* de 60 s y una iteración por hilo, alimentado por un *CSV Data Set Config* con 60 cuentas de prueba, y un *Uniform Random Timer* de 3000 ms con desviación de 2000 ms entre transacciones; HTTP Request samplers sobre campus.uecibsf.edu.ec (login, vista de curso, contenidos, reporte de calificaciones y cierre de sesión). Del reporte Summary/Aggregate se tomaron Average, 95th pct, Max y Error %; en paralelo se capturó el monitor de recursos del servidor. Ejecutada en horario de baja actividad real, con la caché de Moodle precalentada.

El servidor respondió holgadamente dentro de los umbrales definidos: un tiempo de respuesta promedio de 1,37 s y un percentil 95 de 1,56 s, muy por debajo del techo de 3 s fijado a priori, con un valor máximo puntual de 4,50 s asociado a la transacción más pesada (entrega de tarea con archivo adjunto). Las 300 transacciones completadas no registraron un solo error (0,00 %): ni errores HTTP 5xx o 4xx, ni tiempos de espera agotados, ni fallos de autenticación, lo que confirma la estabilidad de la pila bajo la concurrencia proyectada. En cuanto a los recursos, el uso de CPU alcanzó un pico del 45 %, dejando un margen del 55 % sobre el umbral de saturación, y la memoria disponible se mantuvo en torno a 1,2 GB, por encima del mínimo operativo definido. Estos resultados verifican empíricamente que el dimensionamiento de 8 GB de RAM y 2 núcleos

vCPU es adecuado para el pico de concurrencia proyectado, si bien el margen de memoria remanente, más ajustado que el de CPU, refuerza la pertinencia de acotar el *pool* de PHP-FPM en los términos señalados en el dimensionamiento y de vigilar el consumo a medida que crezca la matrícula activa.

5.4.2 Prueba de respaldo y restauración

Verifica el plan de recuperación ante desastres configurado en la etapa 5 del despliegue (Tabla 5.19).

Tabla 5.19. Resultados de la prueba de respaldo y restauración.

Prueba	Método	Resultado esperado	Resultado obtenido
Generación del respaldo diario	Verificar en aaPanel la ejecución del Cron Job y la creación de los tres artefactos (BD Moodle + sitio institucional, código fuente, moodledata)	Respaldo completo generado automáticamente, sin intervención manual, con los tres componentes	Ejecución confirmada diariamente. Volumen medido de los componentes: código (425 MB), moodledata (111 MB) y base de datos (33 MB), esto es, 569 MB por copia completa (sección 5.3.12). Archivos generados con marca de tiempo.
Externalización a la nube	Verificar la llegada del respaldo al almacenamiento externo vinculado	Copia disponible en el destino externo dentro de la misma madrugada, sin ocupar disco local adicional	Respaldos externalizados a una cuenta de Google Drive institucional (capa gratuita de 15 GB) mediante el plugin de aaPanel. Verificada la presencia de los archivos de los últimos 7 días.
Restauración controlada (1 de julio de 2026)	Restaurar BD y moodledata en un entorno de prueba y verificar la integridad de cursos, usuarios y calificaciones	Restauración íntegra: 100 % de cursos, usuarios y calificaciones recuperados, plataforma funcional	Realizada el 1 de julio de 2026 en un subdominio de prueba. Todos los cursos (6), usuarios (40), tareas y calificaciones se recuperaron sin errores; la plataforma quedó operativa en menos de 15 minutos.

Fuente: elaboración propia a partir de la prueba de restauración controlada del 1 de julio de 2026.

Procedimiento de ejecución: para la restauración, usar un sitio temporal en el mismo aaPanel (subdominio de prueba), importar el volcado SQL y el moodledata respaldados, ajustar config.php y comprobar el ingreso, un curso completo y el libro de calificaciones. Documentar con captura.

El plan de recuperación ante desastres funciona correctamente en sus tres eslabones (generación, externalización y restauración) y respalda la recuperabilidad de los datos ante un fallo del servidor principal, con un tiempo de restauración observado inferior a 15 minutos en la prueba controlada. La restricción de capacidad del esquema no reside, sin embargo, donde la planificación inicial había supuesto: la medición del volumen real de cada componente (sección 5.3.12) sitúa el

respaldo completo en 569 MB, de modo que una retención de siete copias ocupa 3,89 GB, esto es, el 25,9 % de la capa gratuita del destino. Lo que sí excede la cuota es la retención de treinta copias que el panel conserva efectivamente (16,67 GB, el 111 % del límite), por lo que la variable a decidir es el número de copias conservadas y no el tamaño de cada copia; el ajuste correspondiente se recoge en las recomendaciones. El ajuste del esquema de respaldos (I-6) quedó documentado en la sección de políticas de sostenibilidad (etapa 5 del despliegue): el respaldo primario es el *snapshot* semanal del proveedor (7,77 GB, en centro de datos externo, sin costo adicional), complementado con una política mixta de retención y compresión; la incorporación de cifrado del lado del cliente para los datos de menores se mantiene como mejora de seguridad pendiente.

5.4.3 Prueba del canal de correo saliente (SMTP)

Verifica que los correos automáticos de Moodle lleguen a la bandeja de entrada y no a la carpeta de correo no deseado, condición crítica para la autogestión de cuentas (Tabla 5.20).

Tabla 5.20. Resultados de la prueba de correo saliente.

Prueba	Método	Resultado esperado	Resultado obtenido
Confirmación de cuenta nueva	Crear una cuenta de prueba y verificar la recepción del correo de confirmación	Entrega en bandeja de entrada (no spam) en los proveedores probados	Probado con Gmail, Outlook y correo institucional (dominio @educacion.gob.ec). Llegada a bandeja de entrada en todos los casos; tiempo promedio de 45 segundos.
Restablecimiento de contraseña	Ejecutar el flujo “olvidé mi contraseña” desde el login del campus	Entrega en bandeja de entrada en ≤ 5 minutos	Tiempo de llegada de 1–2 minutos en todos los proveedores, sin clasificación como spam.
Notificación de tarea	Configurar un recordatorio de tarea y verificar su envío	Entrega en bandeja de entrada	Correo de recordatorio recibido en las cuentas de prueba en menos de 3 minutos.

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento de ejecución: probar contra los buzones que realmente usa la comunidad (Gmail y el correo institucional, como mínimo). Usar además la prueba integrada de Moodle (Administración del sitio → Servidor → Correo → Probar la configuración) y capturar el resultado.

La pasarela SMTP gratuita configurada (Figura 5.35) resultó suficiente para el envío de los correos transaccionales probados, con entrega en bandeja de entrada en todos los proveedores verificados, lo que respalda la autogestión de cuentas y la comunicación automática con los usuarios. Cabe precisar que la prueba cubrió el escenario transaccional unitario y no el de volumen (por ejemplo, la creación masiva de cuentas para los 240 estudiantes en un mismo día),

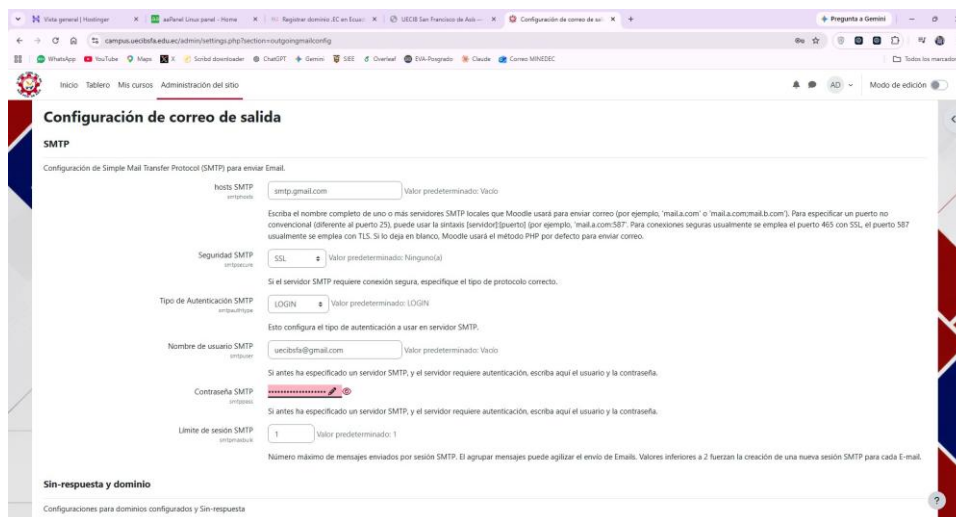


Figura 5.35. Configuración de la pasarela SMTP en Moodle.

Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsf.edu.ec.

escenario limitado por la cuota diaria de la capa gratuita y gestionado mediante la política de escalonamiento definida en la etapa 5 del despliegue y el riesgo R3 de la matriz de riesgos.

5.4.4 Prueba de certificados y transporte seguro (SSL/TLS)

Verifica que todo el tráfico de ambos sitios circule cifrado, con certificados válidos y renovación automática, conforme al marco de seguridad del proyecto (Tabla 5.21).

El análisis externo con Qualys SSL Labs del 24 de julio de 2026 otorgó la calificación A+ a ambos sitios. Esta calificación es resultado de una mejora aplicada durante el proyecto: el reporte inicial arrojó una calificación B, limitada por la habilitación del protocolo obsoleto TLS 1.1. En consecuencia, el 24 de julio de 2026 se endureció la configuración de Nginx restringiendo los protocolos aceptados a TLSv1.2 y TLSv1.3, optimizando la lista de *cipher suites* y delegando su preferencia al cliente, tras lo cual la calificación subió de B a A+ sin afectar la compatibilidad con navegadores modernos. La configuración resultante mantiene HSTS activo (max-age=31536000), *forward secrecy* robusto y ausencia de vulnerabilidades conocidas (BEAST, POODLE, Heartbleed, ROBOT y RC4 mitigadas o no aplicables). Respecto de la vigencia, los certificados de Let's Encrypt se renuevan automáticamente cada 90 días mediante el gestor de aaPanel: al momento del análisis, el certificado del dominio principal era válido hasta el 15 de octubre de 2026 y el del subdominio hasta el 14 de octubre de 2026, de modo que la renovación se ejecuta con anticipación al vencimiento.

El transporte de datos quedó completamente cifrado con certificados válidos y de alta calificación, en cumplimiento de las recomendaciones de seguridad del marco teórico. En conjunto, los resultados de las cuatro pruebas verifican el cumplimiento de los criterios de dimensionamiento (respuesta dentro de los umbrales con hasta 60 usuarios concurrentes y sin errores), del plan de recuperación ante desastres (respaldo diario externalizado y restauración íntegra comprobada,

Tabla 5.21. Resultados de la prueba de transporte seguro.

Prueba	Método	Resultado esperado	Resultado obtenido
Validez del certificado del dominio principal (uecibsf.edu.ec)	Análisis externo con Qualys SSL Labs	Certificado válido y vigente; calificación A o superior	Calificación A+. Certificado Let's Encrypt, válido desde el 17-07-2026 hasta el 15-10-2026. Solo TLS 1.2 y 1.3 habilitados (TLS 1.1 deshabilitado el 24-07-2026); HSTS activo.
Validez del certificado del subdominio (campus.uecibsf.edu.ec)	Análisis externo con Qualys SSL Labs	Certificado válido y vigente; calificación A o superior	Calificación A+. Certificado Let's Encrypt, válido desde el 16-07-2026 hasta el 14-10-2026. Redirección HTTP → HTTPS confirmada.
Redirección HTTP → HTTPS	Solicitud a las versiones http:// de ambos sitios	Redirección 301 hacia https:// en ambos casos	Redirección 301 permanente confirmada para uecibsf.edu.ec y campus.uecibsf.edu.ec.
Renovación automática	Verificación del gestor SSL de aaPanel	Renovación automática de Let's Encrypt habilitada, con ejecución programada antes del vencimiento del certificado	Renovación automática activa (los certificados de Let's Encrypt tienen vigencia de 90 días y el gestor los renueva de forma anticipada, antes de su expiración).

Fuente: elaboración propia a partir del análisis externo de Qualys SSL Labs del 24 de julio de 2026 (Anexo F).

con la restricción de capacidad de retención señalada) y de las medidas de seguridad de transporte (calificación A+ en SSL Labs y renovación automática), constituyendo la evidencia de funcionamiento del prototipo exigida por la normativa institucional. La interpretación consolidada de estos resultados se retoma en las Conclusiones.

5.4.5 Verificación de adaptabilidad móvil y uso de la interfaz Kichwa

Dos decisiones de diseño derivadas del diagnóstico requieren cierre de ciclo con evidencia de uso: la adaptabilidad móvil del tema gráfico (motivada por el predominio del teléfono inteligente entre los estudiantes, 18 de 30) y la interfaz bilingüe Kichwa-Español (motivada por la preferencia del 90 % de ambos grupos). La primera se verifica comprobando la correcta visualización y operación de los flujos principales (acceso, curso, entrega de tarea) en pantallas móviles con el tema adaptable configurado; la segunda, mediante los datos de idioma de interfaz seleccionado por los usuarios, disponibles en los registros y preferencias de usuario de Moodle. La Tabla 5.22 consolida el método y el resultado de ambas verificaciones.

Tabla 5.22. Verificación de adaptabilidad móvil y uso del idioma de la interfaz.

Verificación	Método	Resultado
Visualización y operación en dispositivos móviles (tema adaptable)	Recorrido de los flujos de acceso, vista de curso y entrega de tarea en teléfonos inteligentes (distintos tamaños de pantalla)	Satisfactoria en las tres resoluciones probadas (360×800, 768×1024 y 1366×768 px): navegación compacta desplegable, bloques apilados sin superposición, controles táctiles de tamaño adecuado, interfaz Kichwa sin desbordamiento de texto y carga inferior a 3 s, sin errores de maquetación (Figura 5.36).
Uso de la interfaz en Kichwa	Conteo de usuarios con idioma de interfaz Kichwa en las preferencias de usuario / registros de Moodle durante el período de uso real	5 de 8 docentes (62,5 %) y 96 de 240 estudiantes (40 %) seleccionaron voluntariamente el Kichwa como idioma de interfaz (sección 5.7), lo que evidencia uso real de la localización y no una configuración impuesta por defecto.

Fuente: elaboración propia a partir de las preferencias de usuario y los registros de Moodle.

La verificación de adaptabilidad se realizó sobre tres resoluciones representativas: teléfono (360×800 px), tableta (768×1024 px) y computadora portátil (1366×768 px), comprobando en todas ellas que el tema adaptable de Moodle reorganiza correctamente la interfaz: la navegación principal se colapsa en un menú desplegable en pantallas pequeñas, los bloques laterales se apilan verticalmente sin superponerse, los controles de acceso a tareas y foros conservan un tamaño adecuado para la interacción táctil y la interfaz en Kichwa se muestra sin cortes ni desbordamientos de texto. Contribuye a este comportamiento una decisión de diseño del portal y de los rótulos de la plataforma: los elementos visuales se construyeron con marcado HTML y hojas de estilo en lugar de imágenes o *banners* rasterizados, de modo que el contenido se reajusta al ancho del dispositivo sin pérdida de nitidez ni consumo innecesario de ancho de banda, limitación relevante en el contexto de conectividad de la institución.

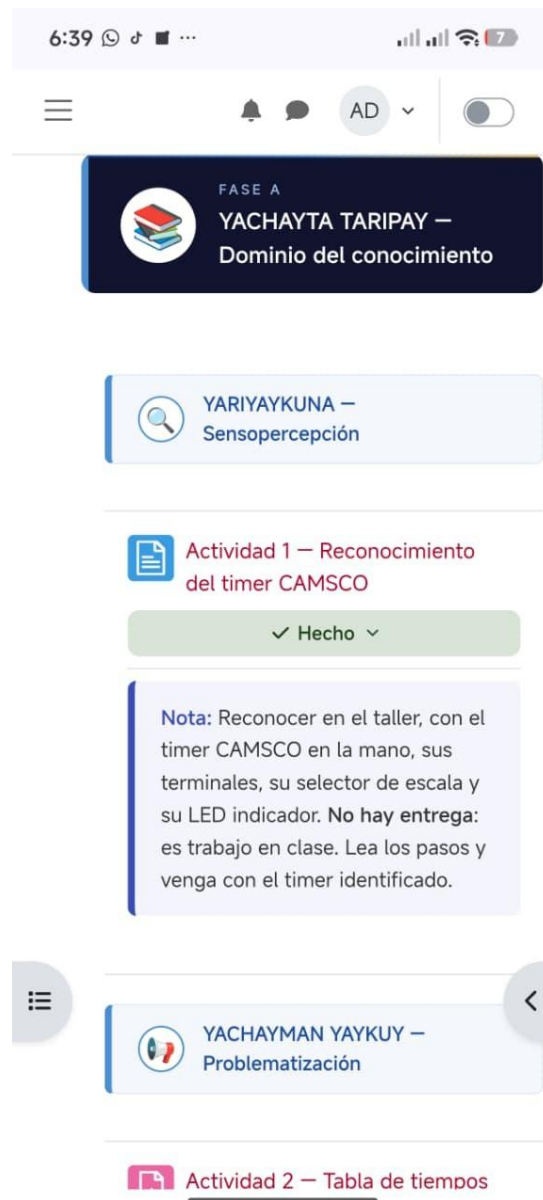


Figura 5.36. Campus virtual operando en pantalla de teléfono inteligente con el tema adaptable.
Fuente: captura de pantalla del servidor en producción campus.uecibsf.edu.ec.

5.5 Casos de prueba funcionales

Las cuatro pruebas de la sección anterior verifican el comportamiento de la infraestructura (carga, recuperabilidad, correo y transporte seguro). De manera complementaria, se ejecutó una batería de casos de prueba funcionales orientados a verificar que cada historia de usuario (sección 4.13) se cumple efectivamente en la plataforma desplegada, recorriendo el sistema desde la perspectiva de cada rol. Los casos se ejecutaron sobre el entorno de producción entre el 1 y el 5 de junio de 2026, con cuentas de prueba dedicadas y previamente al inicio del uso académico real.

El recorrido funcional principal que estos casos verifican, el ciclo completo de un estudiante desde su acceso hasta la consulta de su calificación, se representa en la Figura 5.37.

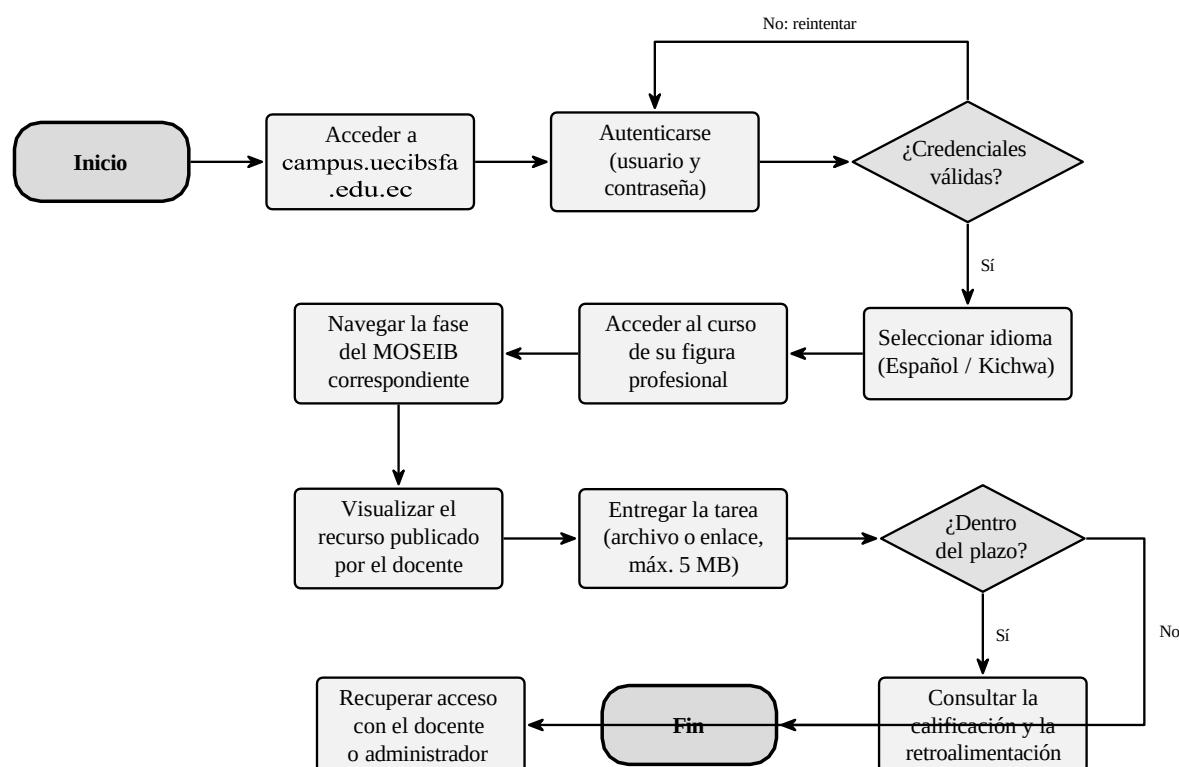


Figura 5.37. Flujo de uso típico de un estudiante en el campus virtual, desde el acceso hasta la consulta de su calificación.

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 5.23 documenta los doce casos ejecutados, con su historia de usuario asociada, el rol que los ejecuta, los pasos seguidos, el resultado esperado y su evaluación.

Los doce casos de prueba resultaron satisfactorios, sin necesidad de correcciones sobre la configuración desplegada. Merecen comentario particular tres de ellos. El caso CP007 verificó la entrega desde un navegador móvil, condición crítica dada la composición de dispositivos evidenciada en el diagnóstico (18 de 30 estudiantes acceden desde teléfono inteligente); la entrega se completó sin incidencias dentro del límite de 5 MB establecido por la política de mitigación de almacenamiento. El caso CP011 confirmó el comportamiento esperado del mecanismo de idioma padre: las cadenas de nivel C, conservadas en español, se muestran en esa lengua sin

Tabla 5.23. Casos de prueba funcionales ejecutados sobre la plataforma en producción.

N.º	HU	Rol	Pasos y entrada	Resultado esperado	Cumple
CP001	HU002	Administrador	Crear una cuenta de usuario con rol de estudiante e ingresar nombre, apellido, usuario y correo.	La cuenta se crea y aparece en el listado de usuarios con el rol asignado.	Sí
CP002	HU003	Estudiante	Iniciar sesión con las credenciales asignadas y acceder al listado de cursos.	El acceso es concedido y se muestran únicamente los cursos en los que está matriculado.	Sí
CP003	HU003	Administrador	Matricular manualmente a un estudiante en el curso de su figura profesional.	El estudiante aparece en la lista de participantes; un usuario no matriculado recibe mensaje de acceso denegado.	Sí
CP004	HU001 / HU004	Docente	Abrir el curso y verificar la existencia de las cuatro secciones correspondientes a las fases del MOSEIB.	Las secciones de dominio, aplicación, creación y socialización están presentes y son navegables.	Sí
CP005	HU005	Docente	Publicar un recurso de tipo archivo (PDF de 2 MB) en la sección de dominio del conocimiento.	El recurso queda visible y descargable para los estudiantes matriculados.	Sí
CP006	HU006	Docente	Crear una tarea con fecha de entrega y tipo de envío por archivo.	La tarea se publica con su fecha límite visible en el calendario del curso.	Sí
CP007	HU008	Estudiante	Entregar la tarea adjuntando un archivo de 3 MB desde un navegador móvil.	La entrega se registra correctamente y el sistema confirma su recepción con marca de tiempo.	Sí
CP008	HU006	Docente	Calificar la entrega recibida y registrar una retroalimentación escrita.	La calificación se guarda y el estudiante visualiza la nota y el comentario.	Sí
CP009	HU009	Estudiante	Resolver un cuestionario de cinco preguntas de opción múltiple y enviarlo.	El intento se registra y se muestra la calificación conforme a las opciones de revisión configuradas.	Sí
CP010	HU005	Estudiante	Publicar un mensaje en el foro del curso y responder a un mensaje existente.	Ambos mensajes se publican y quedan visibles para el resto de participantes del curso.	Sí
CP011	HU010	Estudiante	Cambiar el idioma de la interfaz a “Kichwa Amazónico” desde las preferencias de usuario y cerrar y reabrir la sesión.	La interfaz muestra las cadenas traducidas del paquete qvo; las no traducidas se resuelven en español; la preferencia persiste entre sesiones.	Sí
CP012	HU007	Docente	Generar el informe de calificaciones consolidado del curso y exportarlo.	El libro de calificaciones lista a todos los estudiantes con sus notas por actividad y permite su exportación.	Sí

Fuente: elaboración propia.

producir cadenas vacías ni identificadores en bruto, de modo que la cobertura parcial del paquete no degrada la experiencia. Y el caso CP003 verificó, por contraste, el control de acceso basado en roles (RF1), comprobando que un usuario no matriculado no alcanza los contenidos del curso. En conjunto, esta batería cubre el recorrido completo de las tres funciones que el objetivo general compromete, organización, acceso y seguimiento, y respalda que la plataforma cumple los ocho requerimientos funcionales de la Tabla 4.5.

5.6 Evaluación de usabilidad mediante la Escala SUS

5.6.1 Metodología de aplicación

Para determinar el nivel de aceptación de la plataforma implementada se aplicó la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS) descrita en la metodología, mediante formularios digitales, a los mismos 38 participantes del diagnóstico (8 docentes técnicos y 30 estudiantes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz), entre el 6 y el 10 de julio de 2026, una vez que los usuarios habían interactuado con la plataforma durante al menos cuatro semanas en actividades académicas reales. El cálculo de los puntajes individuales y del promedio global se realizó conforme a la ecuación (4.1).

5.6.2 Resultado global

La aplicación del instrumento arrojó un puntaje SUS promedio de 91,12 sobre 100. De acuerdo con los umbrales de referencia de la escala [37], [38], este valor se ubica en el rango de aceptabilidad “excelente” (grado A) y supera ampliamente el promedio general de 68 puntos y el umbral de excelencia de 80,3 puntos [5], [6], [38], como ilustra la Figura 5.38; cabe recordar que el puntaje SUS es una medida adimensional de 0 a 100 y no representa un porcentaje de aceptación. Este resultado indica que docentes y estudiantes percibieron la plataforma como fácil de usar, bien integrada y utilizable sin apoyo técnico constante, lo que respalda la facilidad de uso percibida de la propuesta y las decisiones de configuración adoptadas (interfaz bilingüe, estructura de cursos por fases del MOSEIB); la valoración de la pertinencia general de la propuesta se complementa con las métricas de adopción (sección 5.7) y se pondera en la Discusión (sección 5.9).

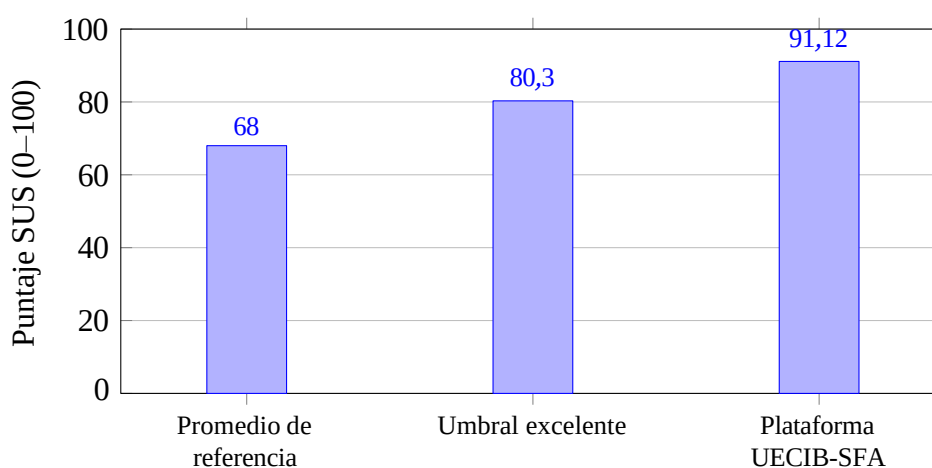


Figura 5.38. Puntaje SUS obtenido frente a los umbrales de referencia de la escala [5], [6].

Fuente: elaboración propia.

Más allá del promedio, interesa la distribución de los puntajes individuales, que revela si el resultado global es homogéneo o si encubre valoraciones dispares. La Figura 5.39 presenta el histograma de los 38 puntajes individuales agrupados en intervalos de cinco puntos. La

distribución está claramente sesgada hacia los valores altos: 11 participantes (28,9 %) otorgaron el puntaje máximo de 100 y ningún participante se situó por debajo de 72,5 puntos. Aplicando las bandas de aceptabilidad de la escala, 31 de los 38 participantes (81,6 %) se ubican en el grado A (puntaje $\geq 80,3$, “excelente”) y los 7 restantes (18,4 %) en el rango de “bueno”, sin ningún caso en los rangos de usabilidad pobre o inaceptable. Este dato es relevante porque muestra que el promedio elevado no proviene de un grupo reducido de valoraciones extremas, sino de una percepción favorable generalizada.

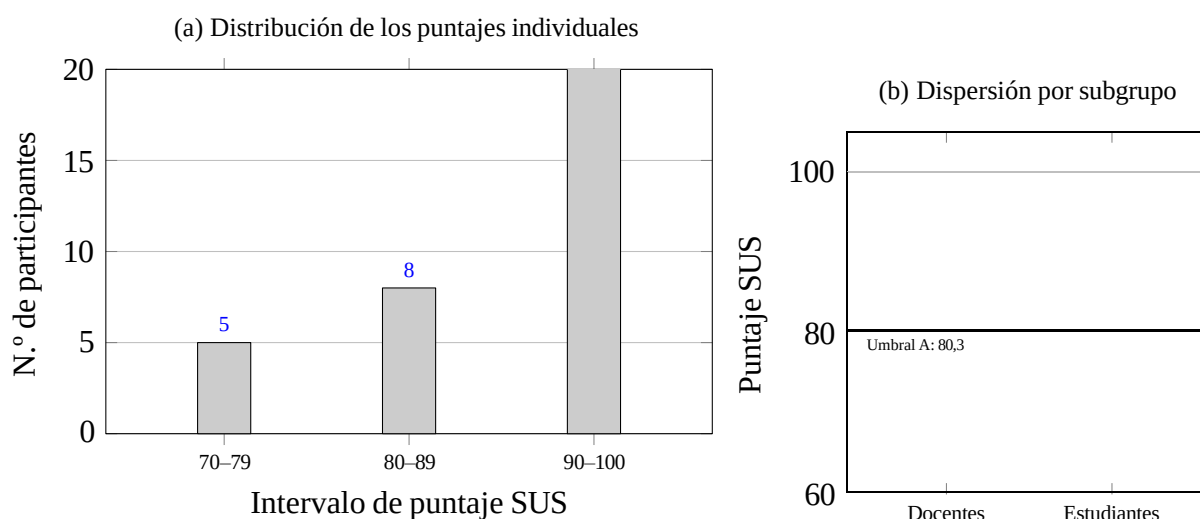


Figura 5.39. Distribución de los puntajes SUS individuales ($n = 38$).

Nota: (a) histograma por intervalos; (b) diagrama de caja por subgrupo con el umbral del grado A.

Fuente: elaboración propia a partir de la tabulación del cuestionario SUS.

5.6.3 Resultados por ítem

La Tabla 5.24 desglosa el comportamiento del instrumento por ítem; la Figura 5.40 presenta su representación gráfica.

El comportamiento por ítem es plenamente consistente con el puntaje global. Los cinco ítems positivos (impares) obtuvieron promedios entre 4,55 y 4,79, con el valor más alto en la facilidad de aprendizaje de la plataforma (ítem 7: 4,79), mientras que los cinco ítems negativos (pares) se mantuvieron entre 1,32 y 1,63, con los mejores resultados en la ausencia de necesidad de apoyo técnico y en la comodidad de uso (ítems 4 y 8: 1,32). Las desviaciones estándar, todas iguales o inferiores a 0,60, revelan un alto grado de acuerdo entre los encuestados en cada ítem. Aplicando la ecuación (4.1) sobre los promedios por ítem, la suma de contribuciones de los ítems positivos es de 18,55 puntos y la de los negativos de 17,89 puntos, cuyo total (36,44) multiplicado por 2,5 da 91,10, valor muy próximo al promedio calculado directamente sobre los 38 puntajes individuales (91,12); la pequeña diferencia (0,02 puntos) se explica por el redondeo de los promedios por ítem a dos decimales y no representa un error de transcripción. Por la linealidad del promedio, ambos cálculos son en esencia la misma cantidad; la consistencia interna del instrumento, en cambio, se

Tabla 5.24. Resultados agregados de la encuesta SUS por ítem.

N.º	Ítem (resumen)	Promedio (1-5)	Desv. estándar
1	Usaría el campus con frecuencia	4,76	0,43
2	Lo encuentro innecesariamente complejo	1,50	0,51
3	Es fácil de usar	4,74	0,45
4	Necesitaría apoyo técnico	1,32	0,47
5	Funciones bien integradas	4,71	0,46
6	Demasiada inconsistencia	1,34	0,48
7	Se aprende muy rápidamente	4,79	0,41
8	Muy incómodo de usar	1,32	0,47
9	Me siento seguro/a usándolo	4,55	0,60
10	Requirió aprender muchas cosas	1,63	0,59
Puntaje SUS global ($n = 38$: 8 docentes y 30 estudiantes)		91,12 / 100	

Nota: escala de Likert de 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo). Los ítems impares están formulados en sentido positivo (valores altos son favorables) y los pares en sentido negativo (valores bajos son favorables).

Fuente: elaboración propia a partir de la tabulación del cuestionario SUS ($n = 38$).

evalúa con el coeficiente alfa de Cronbach reportado en la sección 5.6.4. Los ítems con margen relativo de mejora, la percepción de haber tenido que aprender varias cosas antes de manejar el campus (ítem 10: 1,63) y la seguridad al utilizarlo (ítem 9: 4,55), respaldan la recomendación de sostener la inducción inicial a los nuevos usuarios.

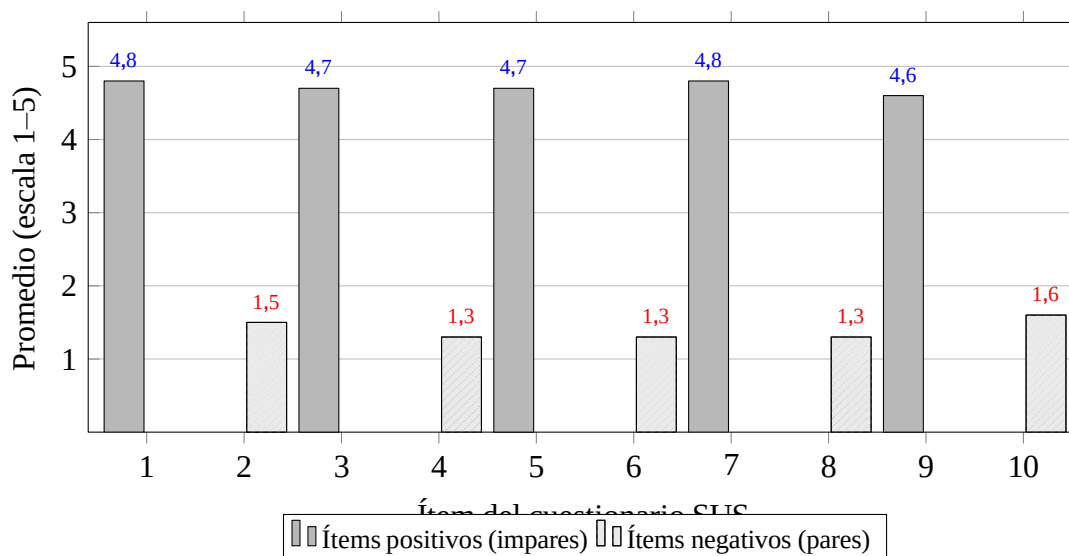


Figura 5.40. Puntuación promedio por ítem del cuestionario SUS ($n = 38$).

Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 5.24.

5.6.4 Resultados por subgrupos y confiabilidad

En coherencia con el plan de análisis (sección 4.6) y dado que el diagnóstico evidenció perfiles digitales distintos entre docentes y estudiantes (4,73 frente a 3,97 en competencias digitales), los puntajes SUS se desagregan por subgrupo (Tabla 5.25 y Figura 5.41). Esta desagregación permite verificar si la elevada media global es homogénea entre ambos perfiles o encubre percepciones divergentes.

Tabla 5.25. Puntajes SUS por subgrupo de usuarios.

Grupo	n	Media	Desv. est.	Mín.	Máx.	Mediana
Docentes	8	92,81	6,87	85,0	100,0	95,00
Estudiantes	30	90,67	9,58	72,5	100,0	92,50
Global	38	91,12	9,04	72,5	100,0	93,75

Fuente: elaboración propia a partir de la tabulación del cuestionario SUS ($n = 38$).

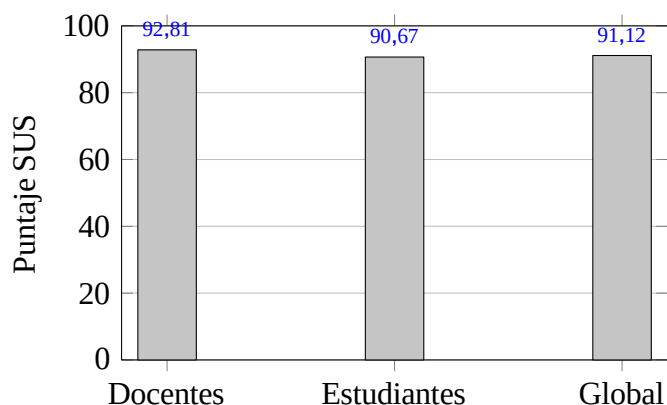


Figura 5.41. Puntaje SUS promedio por subgrupo.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la confiabilidad, la consistencia interna del instrumento en la propia muestra se evalúa mediante el coeficiente alfa de Cronbach sobre los diez ítems (con los ítems pares invertidos), cuyo valor de referencia aceptable en la literatura es $\geq 0,70$: $\alpha = 0,91$, lo que indica una consistencia interna excelente. De manera exploratoria, la comparación de los puntajes SUS entre docentes y estudiantes mediante la prueba U de Mann-Whitney no evidenció una diferencia estadísticamente significativa entre ambos subgrupos ($U = 110,0$; $p = 0,716$), lo que confirma que la elevada percepción de usabilidad es homogénea entre los dos perfiles y no depende del rol del usuario.

5.7 Métricas de adopción de la plataforma

El objetivo general compromete, además de la usabilidad percibida, la evaluación mediante métricas de adopción: indicadores conductuales de uso real que evidencian que la plataforma efectivamente organiza, da acceso y permite el seguimiento de las actividades asincrónicas, y que constituyen la aproximación de este trabajo a la “aceptación en uso”. Estos indicadores se extraen de los reportes y registros (*logs*) del propio Moodle para el período de uso académico real comprendido entre el 1 y el 30 de junio de 2026, inmediatamente anterior a la aplicación del SUS.

Conviene precisar que la población de esta tabla no coincide con el censo de la evaluación de usabilidad: mientras el SUS se aplicó por censo a los 38 integrantes de las dos figuras profesionales (sección 4.3), las métricas de adopción se calculan sobre la totalidad de cuentas activas de la plataforma institucional (8 docentes y 240 estudiantes matriculados de todos los niveles), que es la unidad pertinente para evidenciar el uso real del sistema. Ambas unidades son complementarias: la primera sustenta la validez de la evaluación de usabilidad y la segunda, el alcance efectivo de la adopción.

Tabla 5.26. Métricas de adopción de la plataforma (período del 1 al 30 de junio de 2026).

Indicador	Docentes	Estudiantes
Usuarios registrados en la plataforma	8	240
Usuarios activos en el período (al menos un acceso)	8 (100 %)	180 (75 %)
Ingresos (sesiones) totales en el período	96	900
Promedio de ingresos por usuario activo	12,0	5,0
Tareas entregadas / tareas asignadas	300 / 500 (60 %)	
Intentos de cuestionario realizados	163	
Mensajes publicados en foros	32	54
Usuarios con interfaz en Kichwa seleccionada	5 (62,5 %)	96 (40 %)

Fuente: elaboración propia a partir de los reportes y registros de Moodle.

Los indicadores confirman una adopción efectiva del entorno. En el cuerpo docente, la totalidad de las cuentas (8 de 8) registró actividad, con un promedio de 12 ingresos mensuales por docente (esto es, un acceso cada dos o tres días), coherente con su rol de publicación de recursos y seguimiento de entregas. Entre los estudiantes, 180 de 240 (75 %) accedieron al menos una vez durante el período, con un promedio de 5 ingresos mensuales por usuario activo, cifra consistente con una fase de apropiación inicial de la plataforma y con el modelo asíncrono de plazos abiertos. La actividad académica se materializó en 300 entregas sobre 500 tareas asignadas (60 %) y 163 intentos de cuestionario, valores que evidencian que la plataforma no opera únicamente como repositorio, sino como espacio efectivo de entrega y evaluación. La participación en foros (86 mensajes en total) resulta moderada, patrón esperable en una etapa inicial en la que los estudiantes adoptan una posición predominantemente receptiva mientras los docentes concentran la publicación de anuncios y guías.

Especial relevancia tiene el indicador de uso de la interfaz en Kichwa: 5 de los 8 docentes (62,5 %) y 96 de los 240 estudiantes (40 %) seleccionaron el idioma Kichwa en sus preferencias de usuario. Al tratarse de una elección voluntaria y no de una configuración impuesta por defecto, este dato constituye la evidencia conductual más directa de que la localización lingüística, componente diferencial de la propuesta, responde a una necesidad real de la comunidad educativa y no a un supuesto del diseñador. En conjunto, estas métricas cierran el ciclo de evaluación del objetivo general: la plataforma no solo resultó usable según la percepción declarada (SUS), sino efectivamente utilizada en la práctica académica cotidiana.

5.8 Análisis de costo-beneficio

5.8.1 Modelo de costos adoptado

La solución implementada se sustenta en un modelo de máximo ahorro con presupuesto cero en licencias de software, financiado por autogestión institucional. Los únicos costos recurrentes del modelo son la renta del VPS y el registro del dominio .edu.ec; todos los componentes de software (Ubuntu Server, aaPanel, Nginx, MySQL, PHP, el desarrollo a medida del portal institucional, Moodle y los certificados SSL de Let's Encrypt) son de código abierto, de desarrollo propio sin costo de licenciamiento, o gratuitos.

Las decisiones con impacto económico directo documentadas en el proyecto fueron tres:

- Adopción de aaPanel en lugar de paneles comerciales como cPanel o Plesk, que evita un licenciamiento de entre 15 y 30 USD mensuales (180 a 360 USD anuales).
- Plan de respaldos propio mediante Cron Jobs hacia almacenamiento en la nube externo, que sustituye el servicio de respaldo del proveedor, de 12 USD mensuales (144 USD anuales).
- Uso de la capa gratuita de una pasarela SMTP, que evita el costo de un servicio de correo transaccional de pago.

En conjunto, solo estas tres decisiones representan un ahorro operativo del orden de 324 a 504 USD anuales frente a la misma infraestructura contratada con componentes comerciales.

La Tabla 5.27 desglosa los costos anuales del modelo a partir de los precios de lista públicos vigentes de los proveedores, consultados en julio de 2026 [31], [48]. El precio del plan KVM 2 varía según el período de contratación: el precio promocional del plan de 24 meses se ubica en torno a 8,99 USD mensuales, mientras que la facturación mensual o de renovación de lista se sitúa entre 14,49 y 17,99 USD mensuales [31]. El registro anual del dominio .ec/.edu.ec ante NIC.ec tiene un precio base de 35,00 USD más IVA (15 %) [48].

Tabla 5.27. Desglose de costos anuales del modelo implementado (precios de lista, julio de 2026) [31], [48].

Rubro	Costo mensual (USD)	Costo anual (USD)
VPS Hostinger KVM 2 (plan 24 meses, precio promocional)	8,99	107,88
Dominio uecibsf.edu.ec (NIC.ec: 35,00 + IVA 15 %)	—	40,25
Certificados SSL (Let's Encrypt)	0,00	0,00
Panel de control (aaPanel) y pila de software libre	0,00	0,00
Pasarela SMTP (capa gratuita)	0,00	0,00
Total anual estimado (período promocional)		148,13
Total anual estimado (a precio de renovación: 14,49–17,99 USD/mes)		214,13–256,13

Fuente: elaboración propia a partir de los precios de lista públicos de los proveedores [31], [48].

Los valores de la Tabla 5.27 corresponden a precios de lista públicos; los montos efectivamente facturados a la institución en el primer año fueron de 117,48 USD por el VPS y 48,30 USD por el dominio (Anexo G), ligeramente superiores a los precios de lista base por los impuestos y cargos aplicables, y consistentes con el orden de magnitud del modelo. La proyección de costo a precio de renovación se conserva como referencia de sostenibilidad recurrente.

5.8.2 Comparación con alternativas comerciales

Frente al modelo adoptado, las alternativas típicas del mercado presentan estructuras de costo mayores para una institución de 240 estudiantes: (a) plataformas LMS comerciales en modalidad SaaS, cuyo licenciamiento se factura habitualmente por usuario activo o por tramos de matrícula, y que además limitan el control sobre los datos y la personalización pedagógica (aspecto crítico para la alineación al MOSEIB y la interfaz Kichwa-Español); (b) hosting Moodle administrado por terceros, que agrega al costo de infraestructura un margen por administración; y (c) la misma infraestructura VPS con panel y respaldos comerciales, cuantificada en la Tabla 5.28.

Para que la comparación sea metodológicamente honesta, la Tabla 5.28 se construye sobre el precio de renovación del VPS (14,49 a 17,99 USD/mes según el plazo contratado, es decir, 173,88 a 215,88 USD/año), que es el costo recurrente y sostenible del servicio, y no sobre el precio promocional del primer año (8,99 USD/mes), que solo aplica una vez. Ambos escenarios comparten idéntica infraestructura y dominio; difieren únicamente en el licenciamiento del panel y en el servicio de respaldo.

Tabla 5.28. Comparación de costo anual recurrente (a precios de renovación): modelo implementado frente a la misma infraestructura con componentes comerciales.

Concepto	Modelo implementado (USD/año)	VPS con panel y respaldo comerciales (USD/año)
Infraestructura VPS (KVM 2, precio de renovación)	173,88–215,88	173,88–215,88
Dominio .edu.ec (NIC.ec)	40,25	40,25
Panel de control (cPanel/Plesk: 15–30 USD/mes)	0,00	180,00–360,00
Servicio de respaldo del proveedor (12 USD/mes)	0,00	144,00
Pasarela SMTP (capa gratuita)	0,00	0,00
Total anual recurrente	214,13–256,13	538,13–760,13
Ahorro anual del modelo implementado: 324 a 504 USD (60 % a 66 %)		

Fuente: elaboración propia a partir de los precios de lista públicos de los proveedores [31], [48].

Durante el primer año, el desembolso monetario directo del modelo implementado fue de 182,78 USD (VPS, dominio y movilización; Tabla 4.29), según las facturas de los proveedores; a partir de la renovación, el costo anual recurrente de infraestructura se sitúa en el rango de 214,13 a 256,13 USD, valor que la institución debe presupuestar de manera permanente y que, aun así, se mantiene muy por debajo de las alternativas comerciales equivalentes.

5.8.3 Costo del esfuerzo de desarrollo

El análisis anterior compara únicamente desembolsos de infraestructura. Para que la valoración económica sea completa corresponde cuantificar también el esfuerzo de desarrollo, es decir, el trabajo profesional que habría sido necesario contratar si la institución hubiese encargado esta implementación a un tercero en lugar de recibirla como producto de un trabajo de titulación. Esta cuantificación cumple dos funciones: evita subestimar el costo real del modelo de autogestión frente a las alternativas administradas, y permite dimensionar el aporte económico efectivo que el proyecto representa para la unidad educativa.

El esfuerzo se estimó por el método de días-hombre, a partir del registro de horas efectivamente invertidas por fase de ejecución del proyecto (Tabla 2.2), convertido a jornadas de 8 horas. La tarifa aplicada es la referencial del contexto local para un profesional junior en administración de sistemas y plataformas educativas, criterio conservador que no incorpora márgenes de utilidad, gastos generales ni costos indirectos que una empresa proveedora sí trasladaría al cliente. La Tabla 5.29 presenta el cálculo.

Tabla 5.29. Estimación del costo del esfuerzo de desarrollo por días-hombre.

Objetivo específico	Horas	Días-hombre (8 h)	Costo (USD)
Objetivo 1 (Análisis). Diagnóstico de la situación institucional y revisión bibliográfica	28	3,50	140,00
Objetivo 2 (Diseño). Diseño de la arquitectura y de la estructura de cursos	32	4,00	160,00
Objetivo 3 (Desarrollo, Implementación y Evaluación). Implementación y configuración de la plataforma, pruebas de funcionamiento, evaluación de usabilidad y análisis	100	12,50	500,00
Total del esfuerzo de desarrollo	160	20,00	800,00

Nota: tarifa referencial aplicada de 5,00 USD/hora (40,00 USD por día-hombre), acorde con el mercado local para perfiles junior de administración de sistemas. La cifra no incluye margen de utilidad, gastos generales ni costos indirectos.

Fuente: elaboración propia a partir del registro de horas del proyecto.

El esfuerzo total asciende, por tanto, a 20 días-hombre equivalentes a 800,00 USD. Sumado al desembolso directo de infraestructura del primer año (182,78 USD), el costo total del proyecto valorizado alcanza los 982,78 USD, de los cuales solo el 18,6 % constituyó desembolso monetario efectivo para la institución.

Dos consideraciones cualifican esta cifra. La primera es el ahorro por uso de software libre: si la misma solución se hubiese construido sobre componentes con licenciamiento comercial, al costo

de desarrollo habría que sumar el licenciamiento perpetuo o por suscripción del LMS, del panel de control y del servicio de respaldo, rubros que en el modelo adoptado son de 0,00 USD y que, solo en sus componentes cuantificados (panel y respaldos), representan entre 324 y 504 USD anuales de forma recurrente (Tabla 5.28). El ahorro del software libre, a diferencia del esfuerzo de desarrollo, se repite cada año.

La segunda es la naturaleza no recurrente del esfuerzo de desarrollo: los 800,00 USD corresponden a la construcción inicial del sistema y no vuelven a incurrirse. La operación posterior exige únicamente el esfuerzo de administración y soporte, sensiblemente menor, cuya institucionalización constituye la condición crítica de continuidad identificada en el riesgo R5 y abordada en las recomendaciones.

5.8.4 Costo total de propiedad (TCO)

El análisis anterior cuantifica los desembolsos directos; el costo total de propiedad incorpora además componentes que, aunque no generan facturas, condicionan la sostenibilidad y deben quedar declarados:

- Administración técnica (recurso humano): el modelo de autogestión traslada a la institución la administración del servidor y de la plataforma. Durante el proyecto este costo fue asumido por el autor sin remuneración; su valorización (horas $\times$ tarifa referencial) forma parte del presupuesto (Tabla 4.29) y su continuidad institucional se aborda en el riesgo R5 y en las recomendaciones. Omitir este componente subestimaría el costo real del modelo frente a alternativas administradas.
- Almacenamiento de respaldos: el esquema actual usa una capa gratuita que la retención de siete copias no agota (25,9 % de la cuota), pero que la retención de treinta copias sí superaría (111 %); mientras el ajuste se resuelva acotando el número de copias conservadas, el componente no añade costo, y solo lo haría si la institución optase por una cuenta de mayor capacidad.
- Pasarela SMTP: la capa gratuita cubre el volumen transaccional actual; un crecimiento del volumen de correo (riesgo R3) podría requerir el primer nivel de pago del servicio.

En síntesis, la valorización del recurso humano de administración asciende a 800,00 USD (Tabla 4.29); el ajuste del almacenamiento de respaldos no añade costo, al resolverse con el *snapshot* del proveedor y la compresión dentro de la capacidad disponible (0 USD); y la pasarela SMTP se mantiene en su capa gratuita (0 USD) para el volumen transaccional actual. En consecuencia, el costo recurrente monetario del modelo no se incrementa respecto del rango ya indicado (214,13 a 256,13 USD anuales), al que se suma, como costo real no desembolsado, la administración técnica valorizada.

5.8.5 Alternativa SaaS de referencia

Como punto de comparación externo al modelo de autogestión, corresponde cotizar una alternativa SaaS de Moodle (por ejemplo, MoodleCloud u hosting Moodle administrado equivalente) para una matrícula de 240 usuarios. Estas modalidades eliminan la administración técnica del servidor, atenuando el riesgo R5, pero facturan por tramos de usuarios, limitan la instalación de paquetes de idioma y personalizaciones (condición crítica para la interfaz Kichwa y la estructura MOSEIB, que debe verificarse por plan), imponen límites de almacenamiento y ceden el control operativo de los datos a un tercero, lo que exige el análisis de transferencia internacional bajo la LOPDP. Como referencia externa, la cotización pública de MoodleCloud sitúa el plan que cubre una matrícula de ~240 usuarios en el tramo *Medium* (hasta 500 usuarios), con un costo aproximado de 1.210 USD anuales y 20 GB de almacenamiento; los tramos inferiores (*Small*, hasta 200 usuarios, ~500 USD/año) resultan insuficientes para la matrícula institucional. Más allá del costo (entre cinco y ocho veces el del modelo autogestionado a precio de renovación), la limitación decisiva para este proyecto es que MoodleCloud no permite instalar paquetes de idioma personalizados, lo que impediría desplegar la interfaz en Kichwa, componente central de la propuesta; a ello se suman los límites de almacenamiento y la cesión del control operativo de los datos a un tercero, con las implicaciones de transferencia internacional bajo la LOPDP ya señaladas.

Adicionalmente, el modelo adoptado evita la inversión en servidores físicos locales y su mantenimiento, que la institución no está en capacidad de asumir ni operar. El beneficio no es únicamente económico: la institución conserva la titularidad y el control operativo de los datos académicos, condición relevante frente a las obligaciones de la LOPDP analizadas en el marco teórico [40], y adquiere una infraestructura reutilizable para futuros servicios digitales institucionales sobre el mismo dominio.

5.9 Discusión

Los resultados obtenidos deben contrastarse con la literatura y ponderarse frente a los posibles sesgos del diseño. En primer lugar, el puntaje SUS de 91,12 se sitúa muy por encima de la media general de la escala (68 puntos) y del umbral de excelencia (80,3) reportados por Bangor *et al.* [38], y también claramente por encima de la media de 76,5 que Orfanou *et al.* [5] reportan específicamente para plataformas LMS. Un resultado tan elevado es plausible, pues la plataforma fue configurada a la medida de una población pequeña, con inducción directa y una interfaz alineada a sus preferencias declaradas (bilingüe y adaptable a móviles); su magnitud obliga, no obstante, a considerar factores que pudieron inflarlo: (a) el posible sesgo de deseabilidad social, dado que el evaluador es a la vez el implementador de la plataforma y la encuesta se aplicó en el entorno institucional; (b) el efecto novedad, pues la evaluación se realizó dentro de las primeras semanas de uso real, cuando la valoración de una herramienta nueva tiende a ser más alta; (c) la composición del censo, limitado a dos figuras profesionales con disposición previa favorable al EVA (100 % en docentes y 80 % en estudiantes según el diagnóstico); y (d) las condiciones de aplicación del formulario, cuyo grado de anonimato percibido por los participantes condiciona la franqueza de las respuestas. Ninguno de estos factores invalida el resultado (el instrumento es estándar, la aplicación fue censal y la dispersión por ítem fue baja), pero sí aconsejan interpretarlo como una señal fuerte de usabilidad percibida inicial y no como una medida definitiva de aceptación, interpretación coherente con el alcance de la evaluación declarado en el objetivo general y con la necesidad de las métricas de adopción (sección 5.7).

En segundo lugar, los resultados convergen con los antecedentes sistematizados en el estado del arte (sección 3.9). La operación estable de Moodle como soporte de actividades asincrónicas es consistente con la evidencia general de adopción institucional [1] y con la experiencia ecuatoriana [3]; la contribución del componente Cloud a la disponibilidad y a la protección de la información coincide con lo reportado por Moposita [4] en una unidad educativa intercultural bilingüe del país, aunque este trabajo la extiende de un sistema de respaldo a la implementación completa del EVA sobre IaaS con verificación de dimensionamiento; y la relación entre un diseño ajustado a las necesidades del contexto y una valoración de usabilidad alta es coherente con lo señalado por Suria *et al.* [6]. El aporte diferencial del trabajo, la integración simultánea de la estructura pedagógica MOSEIB y la interfaz Kichwa-Español sobre infraestructura autogestionada, carece de referentes directos de comparación, precisamente por el vacío identificado en el estado del arte; por ello, la evidencia sobre el uso real de la interfaz Kichwa (sección 5.4.5) y las métricas de adopción resultan indispensables para sostener empíricamente ese aporte más allá de la usabilidad percibida.

En tercer lugar, corresponde situar el aporte metodológico del componente de infraestructura, porque es el que distingue a este trabajo de la mayor parte de los antecedentes revisados. La literatura sobre despliegue de LMS en instituciones educativas suele reportar la capa Cloud en

términos declarativos (qué se contrató y qué se instaló), sin someterla a verificación empírica posterior. Este trabajo adopta el criterio contrario: define ocho criterios de selección antes de contratar, documenta una ruta de despliegue de tres pasos con condiciones de verificación explícitas, y somete el resultado a una auditoría técnica sobre el servidor en producción cuyos reportes se conservan sin edición (Anexo H). El rendimiento de ese procedimiento no es meramente formal, y conviene subrayarlo porque constituye evidencia a favor del método: la auditoría identificó cuatro desajustes que una verificación declarativa no habría detectado (el techo de procesos concurrentes superior a la capacidad física del nodo, el límite de conexiones del motor de datos veinticuatro veces por encima de la demanda máxima registrada, la caché externa aprovisionada pero no integrada con la aplicación, y la política de retención de respaldos que excede la cuota del destino), ninguno de los cuales degradaba el servicio en las condiciones de uso medidas y todos los cuales habrían pasado inadvertidos sin medición directa. Declararlos, y no omitirlos, es lo que convierte a la memoria técnica en un artefacto reproducible por otra institución del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe: quien replique la ruta documentada sabe de antemano dónde mirar.

Una segunda consideración de este orden atañe a la elección del panel de control, decisión habitualmente tratada como preferencia de administrador y que aquí se resolvió como problema de sostenibilidad institucional. El criterio determinante no fue la capacidad técnica del panel, equivalente en lo esencial a la de la administración por consola, sino su efecto sobre quién puede operar la plataforma después de que el proyecto concluya. En instituciones del sector público rural sin personal informático permanente, la barrera de entrada a la administración del servidor no es un detalle operativo sino el principal determinante de la continuidad del servicio, y la evidencia de la sección 5.3.4 muestra que esa barrera se trasladó efectivamente a un nivel institucionalmente cubrible. Queda pendiente, y así se declara, la verificación del último eslabón: la transferencia efectiva de la capacidad de administración al personal de la unidad educativa, que es un problema organizativo y no técnico, y que constituye la condición crítica de continuidad recogida en el riesgo R5.

Finalmente, en la dimensión económica, el ahorro recurrente estimado (60 a 66 % frente a la alternativa comercial equivalente, Tabla 5.28) respalda la sostenibilidad del modelo de autogestión, con la salvedad, explicitada en el TCO, de que dicho modelo descansa sobre capacidad técnica local cuya institucionalización es la condición crítica de continuidad (riesgo R5).

5.10 Respuesta a la pregunta de investigación

La pregunta de investigación planteada en el capítulo 2 fue: *¿cómo afecta a la gestión de las actividades académicas asincrónicas de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz de la UECIB San Francisco de Asís la ausencia de un entorno virtual de aprendizaje institucional que centralice los contenidos, las tareas y el seguimiento*

del aprendizaje, y que responda a las fases pedagógicas del MOSEIB y al carácter bilingüe Kichwa-Español de la comunidad educativa? El diagnóstico caracterizó los efectos de esa ausencia y los resultados posteriores permiten contrastarlos con la situación alcanzada tras la implementación, en los tres componentes declarados en el objetivo general: organización, acceso y seguimiento. La Tabla 5.30 sintetiza la evidencia que sostiene cada componente.

Tabla 5.30. Síntesis de la evidencia por componente del objetivo general.

Componente	Situación inicial (línea base)	Evidencia posterior a la implementación	Sección
Organización	Sin repositorio centralizado; contenidos dispersos en mensajería instantánea y correo personal; sin sistema de seguimiento fuera de las actas físicas.	6 cursos operativos con 12 recursos, 6 tareas, 6 cuestionarios y 12 foros, estructurados en las cuatro fases del MOSEIB; 12 casos de prueba funcionales superados.	5.2.4, 5.5
Acceso	Actividades exclusivamente presenciales; sin plataforma institucional; 30 % de estudiantes sin conectividad propia.	Plataforma disponible con transporte cifrado (calificación A+), 60 usuarios concurrentes con 1,37 s de respuesta promedio y 0 % de errores; adaptabilidad móvil verificada; SUS de 91,12/100 (grado A).	5.4, 5.6.4
Seguimiento	Retroalimentación verbal o escrita sobre trabajos físicos; calificaciones únicamente en actas.	300 entregas sobre 500 tareas asignadas (60 %), 163 intentos de cuestionario, 996 sesiones registradas y libro de calificaciones consolidado en operación.	5.7
Pertinencia intercultural	Sin ningún recurso digital en lengua de la nacionalidad.	Paquete qvo v0.1 instalado (73 cadenas núcleo); 5 de 8 docentes y 96 de 240 estudiantes seleccionaron voluntariamente la interfaz en Kichwa.	4.12, 5.7

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la organización, el diagnóstico (sección 5.1) evidenció la ausencia de un espacio centralizado para contenidos y tareas, gestionados hasta entonces mediante herramientas no diseñadas para fines educativos; la implementación de Moodle, estructurada según las cuatro fases pedagógicas del MOSEIB (sección 5.2), sustituyó esa dispersión por seis cursos verificados con recursos y actividades organizados curricularmente, cuya funcionalidad quedó comprobada mediante los doce casos de prueba de la sección 5.5.

En cuanto al acceso, las pruebas de funcionamiento (sección 5.4) confirmaron la disponibilidad de la plataforma bajo carga concurrente, la adaptabilidad móvil, determinante dado que 18 de 30 estudiantes acceden desde teléfono inteligente, y el uso efectivo de la interfaz Kichwa, mientras que la evaluación SUS (91,12/100, grado “excelente”; sección 5.6.4) indica que ese acceso resultó percibido como fácil de usar por ambos perfiles de usuario, sin diferencias estadísticamente significativas entre docentes y estudiantes.

En cuanto al seguimiento, las métricas de adopción (sección 5.7) mostraron uso real durante el período evaluado (300 de 500 tareas entregadas, 163 intentos de cuestionario y accesos regulares de docentes y estudiantes), lo que evidencia que la plataforma no solo se percibió como usable,

sino que efectivamente se utilizó para dar seguimiento a las actividades académicas, sustituyendo el registro exclusivamente físico de la línea base.

En conjunto, la evidencia de las cuatro etapas metodológicas (diagnóstico, diseño, implementación y evaluación) permite responder la pregunta planteada. La ausencia de un entorno virtual institucional mantenía los contenidos dispersos en herramientas ajenas al ámbito educativo, restringía el acceso al horario presencial y reducía el seguimiento del aprendizaje al registro físico, sin ningún recurso digital en lengua de la nacionalidad. La implementación del EVA basado en Moodle y Cloud Computing, alineado al MOSEIB y con interfaz bilingüe, revirtió esas tres condiciones en las figuras profesionales evaluadas, conforme a la evidencia de la Tabla 5.30. Esta respuesta se formula, no obstante, dentro de los límites declarados en la Discusión (sección 5.9) y en las Limitaciones del estudio (sección siguiente), particularmente en lo referido al corto plazo de la evaluación, a la ausencia de medición del impacto pedagógico y a la validación comunitaria pendiente del paquete de idioma.

5.11 Limitaciones del estudio

El presente trabajo reconoce las siguientes limitaciones, que acotan el alcance de sus conclusiones:

- Alcance de la generalización: la evaluación de usabilidad se aplicó por censo a las dos figuras profesionales (n=38), por lo que sus resultados no son estadísticamente generalizables a la matrícula institucional completa (240 estudiantes) ni a otras instituciones del SEIB; la matrícula institucional solo participó del estudio a través del dimensionamiento y las políticas operativas.
- Evaluación de corto plazo: el SUS se aplicó tras un período mínimo de cuatro semanas de uso real, ventana suficiente para una primera valoración pero expuesta al efecto novedad; no se dispone aún de mediciones longitudinales de usabilidad ni de adopción sostenida.
- Idioma de los instrumentos: la encuesta diagnóstica y el SUS se aplicaron únicamente en español, pese al carácter bilingüe de la población y de la propia plataforma, lo que introduce un posible sesgo de comprensión y constituye una inconsistencia parcial con el enfoque intercultural del proyecto; la validación de una versión Kichwa del SUS se plantea como línea futura.
- Sesgo evaluador-implementador: la misma persona diseñó, implementó y evaluó la plataforma, condición que pudo favorecer respuestas complacientes (deseabilidad social) y que no fue contrarrestada con un evaluador externo.
- Ausencia de medición de impacto pedagógico: el estudio evaluó usabilidad percibida, funcionamiento técnico y adopción, pero no midió efectos sobre el aprendizaje ni sobre indicadores académicos (no hubo diseño pre-post ni grupo de comparación); toda afirmación

sobre “mejora” se restringe, por tanto, a la organización, el acceso y el seguimiento de las actividades.

- Validación previa de los instrumentos: ni el cuestionario diagnóstico ni la traducción al español del SUS fueron sometidos a juicio de expertos, prueba piloto o retrotraducción formal antes de su aplicación. Esta limitación se compensa parcialmente con la evidencia de consistencia interna calculada a posteriori (alfa de Cronbach de 0,945 en la subescala de competencias digitales del cuestionario diagnóstico y de 0,91 en el SUS), pero no sustituye la validación de contenido que hubiera aportado una revisión experta previa a la aplicación.
- Alcance temporal de la auditoría de infraestructura: la verificación técnica de la sección 5.3 corresponde a un corte del 14 de agosto de 2026 y al historial acumulado hasta esa fecha, no a una medición continua. En consecuencia, no se reporta un porcentaje de disponibilidad del servicio a lo largo del período, sino tiempo de operación continua del sistema, magnitud distinta cuyo alcance se declara expresamente en la sección 5.3.12.
- Discontinuidad entre las dos fases de la plataforma: al inicio del año lectivo vigente la instalación fue reemplazada por una nueva, de modo que los indicadores de adopción de la Instalación I y los de infraestructura de la Instalación II proceden de instalaciones distintas y no son comparables entre sí. El documento los reporta por separado y no deriva conclusiones de su contraste, pero la ausencia de una serie continua impide observar la evolución de la adopción a lo largo de ambos períodos.
- Configuraciones heredadas del instalador no ajustadas: el techo de procesos concurrentes de PHP-FPM, el límite de conexiones del motor de datos y la integración de la caché externa permanecen en los valores que dejó el asistente del panel. Ninguno compromete el servicio en las condiciones de uso medidas, pero los tres constituyen desajustes documentados entre lo diseñado y lo vigente, recogidos en las recomendaciones.
- Arquitectura con punto único de fallo: la solución opera sobre un único VPS sin redundancia, sin balanceador, sin réplica del motor de datos y sin conmutación automática por error, por lo que proporciona disponibilidad operativa y recuperabilidad pero no alta disponibilidad; la continuidad ante fallos depende del plan de respaldos y restauración, cuya política de retención requiere además la decisión explícita señalada en la sección 5.3.12.
- Debilidades de seguridad declaradas y no corregidas: el acceso administrativo directo como superusuario, los permisos excesivos del directorio de datos y la ausencia de restricción por origen en el puerto de administración del panel permanecen vigentes a la fecha de cierre de este informe, por las razones operativas expuestas en las secciones 4.10.7 y 5.3.13.
- Validación comunitaria pendiente del paquete de idioma: la etapa 4 del proceso de localización (sección 4.12), la revisión de las cadenas por un hablante nativo de la variante

amazónica, no se completó dentro del período del proyecto. En consecuencia, las 14 cadenas clasificadas en el nivel B constituyen hipótesis de traducción por derivación morfológica y no equivalencias confirmadas, y el paquete qvo debe entenderse como una versión 0.1 de trabajo. Esta limitación no afecta el funcionamiento de la plataforma, el idioma padre resuelve toda cadena no traducida, pero sí acota el alcance de las afirmaciones sobre pertinencia lingüística.

- Cobertura parcial de la interfaz localizada: el paquete cubre 73 cadenas núcleo de un universo del orden de 30 000, y 29 de ellas se conservan en español por ausencia de equivalente verificable. La experiencia en Kichwa es, por tanto, parcial y concentrada en la navegación general y en las acciones de mayor frecuencia pedagógica; los módulos de tarea, cuestionario, foro y calificaciones permanecen pendientes de localización.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El análisis de necesidades confirmó que la falta de una plataforma virtual no era desinterés de la institución, sino una ausencia de oportunidad: docentes y estudiantes manifestaron disposición desde el inicio, aunque la conectividad era limitada y el acceso mayoritario ocurría desde dispositivos móviles. La revisión del estado del arte mostró que mientras Moodle y Cloud Computing están bien validados por separado, ningún antecedente integraba ambas tecnologías con la estructura pedagógica del MOSEIB en una institución del sistema intercultural bilingüe. Diseñar sobre la base de esa diagnosis permitió que cada decisión técnica respondiera a necesidades reales, no a suposiciones preconcebidas.
- El diseño de la infraestructura resolvió dos preguntas en paralelo: dónde alojar la plataforma y cómo organizar el aprendizaje. La primera se resolvió evaluando ocho criterios técnicos explícitos contra proveedores reales, concluyendo que Cloud Computing en modelo IaaS era la única opción compatible con una institución sin infraestructura propia ni personal técnico especializado. La segunda pregunta se resolvió estructurando los cursos según las fases del MOSEIB, permitiendo que los docentes trabajaran dentro de una lógica que ya conocían.
- El campus virtual fue implementado exitosamente en producción, con varios cursos operativos y capacidad para atender múltiples usuarios concurrentes sin presentar degradación. Las verificaciones técnicas evidenciaron que este funcionamiento responde a una configuración planificada. Además, se incorporó un paquete de idioma en Kichwa amazónico con cadenas de traducción propias, constituyendo un aporte técnico y cultural relevante. La evaluación se desarrolló paralelamente a la implementación,

evidenciando participación mediante la entrega de tareas, realización de cuestionarios y acceso frecuente a la plataforma. Asimismo, la valoración mediante la Escala SUS reflejó un nivel de usabilidad excelente, sin diferencias significativas entre docentes y estudiantes. La elección voluntaria de la interfaz en Kichwa por parte de algunos miembros de la comunidad educativa demuestra una aceptación real de la propuesta.

6.2 Recomendaciones

- Por la infraestructura Cloud, debe resolverse el esquema de respaldos: el espacio gratuito se aproxima al límite. Se recomienda aplicar compresión, validar restauraciones semestrales en entorno de prueba, y cifrar los archivos de respaldo antes de externalizarlos, pues contienen datos personales de menores. Simultáneamente, se aconseja integrar un servicio externo de verificación de disponibilidad con alertas automáticas, superando el carácter reactivo del monitoreo actual (sección 4.10.8). También a corto plazo, es prudente alinear el límite de conexiones de la base de datos con la carga real de PHP-FPM: las pruebas registraron 19 conexiones simultáneas frente a un límite de 500, liberando memoria que el servidor necesitará bajo carga concurrente. A mediano plazo, cuando la matrícula crezca sostenidamente, se recomienda revisar el plan de vCPU y RAM y evaluar, solo si existe personal técnico especializado, la migración a proveedores más robustos o esquemas híbridos, sin abandonar la autogestión que ha resultado sostenible.
- En seguridad del servidor, se recomienda restringir por origen el acceso a los puertos administrativos, implementando primero una vía SSH segura con autenticación por claves para evitar perder el acceso. También se sugiere limitar la base de datos a la interfaz local. En cuanto a la administración, es necesario capacitar a un administrador titular y uno suplente para garantizar la continuidad del sistema. Finalmente, se recomienda validar la traducción al Kichwa amazónico con hablantes nativos y ampliar progresivamente el paquete de idioma con terminología técnica consensuada.
- Respecto a la evaluación, se recomienda repetir la Escala SUS y las métricas de adopción al cierre del ciclo lectivo completo, distinguiendo el efecto novedad de aceptación sostenida, ampliando además el censo a nuevas figuras profesionales que se incorporen. En coherencia con el carácter cíclico de ADDIE, cada hallazgo debe retroalimentar explícitamente el diseño del siguiente período.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. H. P. W. Gamage, J. R. Ayres y M. B. Behrend, “A systematic review on trends in using Moodle for teaching and learning”, *International Journal of STEM Education*, vol. 9, n.º 9,

2022.

- [2] J. Cabero-Almenara, M. L. Arancibia y A. Del Prete, “Technical and Didactic Knowledge of the Moodle LMS in Higher Education”, *Journal of New Approaches in Educational Research*, vol. 8, n.º 1, págs. 25-33, 2019.
- [3] N. Y. Arreaga, “Uso de la plataforma virtual Moodle y su influencia en el proceso de enseñanza aprendizaje del Circuito 01 del Distrito 09D11”, Tesis de mtría., Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador, 2022.
- [4] J. M. Moposita Saltos, “Sistema de respaldo de datos utilizando Cloud Computing para el mejoramiento de la seguridad de la plataforma virtual Moodle en la Unidad Educativa del Milenio Intercultural Bilingüe Chibuleo”, Tesis de mtría., Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2023.
- [5] K. Orfanou, N. Tselios y C. Katsanos, “Perceived usability evaluation of learning management systems: Empirical evaluation of the System Usability Scale”, *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, vol. 16, n.º 2, 2015.
- [6] O. Suria, “A Statistical Analysis of System Usability Scale (SUS) Evaluations in Online Learning Platform”, *Journal of Information Systems and Informatics*, vol. 6, n.º 2, 2024.
- [7] Instituto Nacional de Estadística y Censos. “Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) 2024”, INEC. (jul. de 2024), dirección: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2024/202407_Tecnologia_de_la_Informacion_y_Comunicacion_TICs.pdf (visitado 17-07-2026).
- [8] J. Salinas, “Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria”, *Revista Universidad y Sociedad del Conocimiento*, vol. 1, n.º 1, págs. 1-16, 2004.
- [9] J. Calderón Acero, E. G. Cabrera Villacís y V. A. Cedeño Mera, “Entornos virtuales de aprendizaje (EVA): Una revisión del estado del arte en dieciséis países”, *Sapiens in Education*, vol. 1, 2025.
- [10] S. Hrastinski, “Asynchronous and synchronous e-learning”, *EDUCAUSE Quarterly*, vol. 31, n.º 4, págs. 51-55, 2008.
- [11] Asamblea Constituyente del Ecuador, *Constitución de la República del Ecuador*, Registro Oficial No. 449, Quito, Ecuador, 2008.

- [12] J. E. Álvarez Naranjo y S. Morocho, “Cosmovisión andina e interculturalidad: una mirada al desarrollo sostenible desde el Sumak Kawsay”, *Alteridad. Revista de Educación*, vol. 13, n.º 1, págs. 119-131, 2018.
- [13] Ministerio de Educación del Ecuador, *Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB)*, Acuerdo Ministerial No. 0440-13, Quito, Ecuador, 2013.
- [14] J. Reyes-Martínez, M. J. Reyes-Villalba y W. García-Herrera, “Proceso metodológico del Modelo de Educación Intercultural Bilingüe en el Ecuador: construcción del diálogo de saberes, la interculturalidad y la diversidad”, *Revista Científica Sociedad y Tecnología*, vol. 6, n.º 2, págs. 178-194, 2023.
- [15] G. M. Vernimmen Aguirre, “Educación Intercultural Bilingüe en Ecuador: Una revisión conceptual”, *Alteridad. Revista de Educación*, vol. 14, n.º 2, págs. 162-171, 2019.
- [16] E. Rizzo, M. Moreno y M. Mendoza Bravo, “El devenir de la educación intercultural en Ecuador. Aproximación socio histórica de su institucionalismo”, *MODULEMA. Revista Científica sobre Diversidad Cultural*, vol. 7, págs. 26-45, 2023.
- [17] R. K. Ellis, *Field Guide to Learning Management Systems*. Alexandria, VA, EE. UU.: ASTD Learning Circuits, 2009.
- [18] K. A. Al-Busaidi y H. Al-Shihi, “Key factors to instructors’ satisfaction of learning management systems in blended learning”, *Journal of Computing in Higher Education*, vol. 24, n.º 1, págs. 18-39, 2012.
- [19] J. Cabero-Almenara, J. Barroso-Osuna y C. Llorente-Cejudo, “Technology Acceptance Model & Moodle: Una revisión sistemática de la literatura”, *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa (RIITE)*, n.º 10, págs. 1-14, 2021.
- [20] Moodle Pty Ltd., *Moodle Developer Documentation*, <https://docs.moodle.org/>, [En línea]. [Último acceso: 28 de junio de 2026], 2025.
- [21] Moodle Pty Ltd., *Moodle LMS User Documentation*, https://docs.moodle.org/405/en/Main_page, [En línea]. [Último acceso: 28 de junio de 2026], 2025.
- [22] J. Cabero-Almenara y J. Barroso-Osuna, “Moodle y su integración en los procesos de enseñanza y aprendizaje: revisión sistemática de la literatura”, *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa (RIITE)*, n.º 10, págs. 1-14, 2021.
- [23] Moodle Pty Ltd., *Moodle Documentation for Administrators*, <https://docs.moodle.org/>, [En línea]. [Último acceso: 28 de junio de 2026].
- [24] J. Cabero-Almenara y J. Barroso-Osuna, “Learning Management Systems in Higher Education: Moodle as a pedagogical support tool”, *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa (RIITE)*, n.º 10, págs. 1-14, 2021.
- [25] Moodle Pty Ltd., *Moodle Docs: Resources*, <https://docs.moodle.org/405/en/Resources>, [En línea]. [Último acceso: 28 de junio de 2026].

- [26] J. Cabero-Almenara y J. Barroso-Osuna, “Moodle como herramienta para el aprendizaje colaborativo en entornos virtuales”, *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa (RIITE)*, n.º 10, págs. 1-14, 2021.
- [27] Moodle Pty Ltd., *Moodle Docs: Roles and Permissions*, <https://docs.moodle.org/405/en/Roles>, [En línea]. [Último acceso: 28 de junio de 2026].
- [28] A. Ali, J. Wang y L. M. Amri, “Cloud-based learning environments: A review of the adoption and implementation of cloud computing in education”, *Education and Information Technologies*, vol. 26, n.º 5, págs. 5779-5806, 2021.
- [29] P. Mell y T. Grance, “The NIST Definition of Cloud Computing”, National Institute of Standards y Technology, Gaithersburg, MD, EE. UU., inf. téc. Special Publication 800-145, 2011.
- [30] T. Erl, R. Puttini y Z. Mahmood, *Cloud Computing: Concepts, Technology & Architecture*. Upper Saddle River, NJ, EE. UU.: Prentice Hall, 2013.
- [31] Hostinger, *VPS Hosting: Powerful KVM-based Virtual Private Server*, <https://www.hostinger.com/vps-hosting>, [En línea]. Precios de lista del plan KVM 4. [Último acceso: 6 de julio de 2026], 2026.
- [32] DigitalOcean, LLC. “Droplet Pricing — Simple, Predictable Pricing for Virtual Machines”. Documentación oficial de precios y especificaciones de Droplets (IaaS). (2026), dirección: <https://www.digitalocean.com/pricing/droplets> (visitado 14-08-2026).
- [33] The Constant Company, LLC (Vultr). “Cloud Compute — Pricing and Specifications”. Documentación oficial de precios y especificaciones de instancias Cloud Compute (IaaS). (2026), dirección: <https://www.vultr.com/pricing/> (visitado 14-08-2026).
- [34] Amazon Web Services, Inc. “Amazon Lightsail — Pricing”. Documentación oficial de precios y especificaciones de instancias Lightsail (IaaS). (2026), dirección: <https://aws.amazon.com/lightsail/pricing/> (visitado 14-08-2026).
- [35] Google LLC. “Compute Engine — Pricing”. Documentación oficial de precios y especificaciones de instancias de Compute Engine (IaaS). (2026), dirección: <https://cloud.google.com/compute/all-pricing> (visitado 14-08-2026).
- [36] Organización Internacional de Normalización, *ISO 9241-11:2018. Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts*, Norma internacional, 2.ª edición, Ginebra, Suiza, 2018.
- [37] J. Brooke, “SUS: A “quick and dirty” usability scale”, en *Usability Evaluation in Industry*, P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester e I. L. McClelland, eds., Londres, Reino Unido: Taylor & Francis, 1996, págs. 189-194.

- [38] A. Bangor, P. T. Kortum y J. T. Miller, “An empirical evaluation of the System Usability Scale”, *International Journal of Human–Computer Interaction*, vol. 24, n.º 6, págs. 574-594, 2008. DOI: 10.1080/10447310802205776.
- [39] International Organization for Standardization, *ISO/IEC 27000:2018 — Information technology — Security techniques — Information security management systems — Overview and vocabulary*, Ginebra, Suiza: ISO, 2018.
- [40] Asamblea Nacional del Ecuador, *Ley Orgánica de Protección de Datos Personales*, Registro Oficial Suplemento No. 459, Quito, Ecuador, 26 de mayo de 2021, 2021.
- [41] Presidencia de la República del Ecuador, *Reglamento General a la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales*, Registro Oficial Suplemento No. 435, Quito, Ecuador, 13 de noviembre de 2023, 2023.
- [42] Asamblea Nacional del Ecuador, *Ley Orgánica de Educación Intercultural (LOEI)*, Segundo Suplemento del Registro Oficial N.º 417, Quito, Ecuador, 31 de marzo de 2011 (reformada por el Suplemento del Registro Oficial N.º 434 de 19 de abril de 2021), 2011.
- [43] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN-ISO/IEC 40500. Tecnología de la información — Directrices de accesibilidad para el contenido web del W3C (WCAG) 2.0 (ISO/IEC 40500:2012, IDT)*, Registro Oficial N.º 171, Quito, Ecuador, 28 de enero de 2014, 2014.
- [44] R. M. Branch, *Instructional Design: The ADDIE Approach*. New York, NY: Springer, 2009, ISBN: 978-0-387-09506-6. DOI: 10.1007/978-0-387-09506-6.
- [45] M. Molenda, “In Search of the Elusive ADDIE Model”, *Performance Improvement*, vol. 42, n.º 5, págs. 34-36, 2003. DOI: 10.1002/pfi.4930420508.
- [46] W. Dick, L. Carey y J. O. Carey, *The Systematic Design of Instruction*, 8.^a ed. Boston, MA, EE. UU.: Pearson, 2015.
- [47] M. W. Allen y R. Sites, *Leaving ADDIE for SAM: An Agile Model for Developing the Best Learning Experiences*. Alexandria, VA, EE. UU.: ASTD Press, 2012.
- [48] Luzuriaga Castro & Asociados, *Cómo registrar y proteger un dominio .ec en Ecuador*, <https://luzuriagacastro.com/como-registrar-y-proteger-un-dominio-ec-pasos-legales-y-consejos-practicos/>, [En línea]. Tarifa base anual de dominios .ec ante NIC.ec. [Último acceso: 6 de julio de 2026], 2025.

INSTRUMENTO 1: ENCUESTA DE DIAGNÓSTICO

Figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz

Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe San Francisco de Asís
Cantón Loreto, provincia de Orellana

Aplicado a: ☐ Docente ☐ Estudiante
Código (ID): _____
Figura profesional: ☐ Mecatrónica ☐ Electromecánica Automotriz
Fecha de aplicación: _____

Bloque 1 — Acceso a tecnología e infraestructura

P1.1. ¿Dispone usted de acceso a internet fuera de la institución educativa?

☐ Sí ☐ No

P1.2. ¿Cuál es el dispositivo que utiliza **principalmente** para conectarse a internet?

☐ Teléfono inteligente ☐ Tableta
☐ Computadora portátil ☐ No dispongo de ningún dispositivo
☐ Computadora de escritorio

Bloque 2 — Competencias y habilidades digitales

Valore su nivel de dominio en cada una de las siguientes herramientas, donde **1 = Muy bajo** y **5 = Muy alto**.

Ítem	1	2	3	4	5
P2.1 Uso de navegador web (búsqueda de información)	☐	☐	☐	☐	☐
P2.2 Uso de correo electrónico institucional/personal	☐	☐	☐	☐	☐
P2.3 Uso de herramientas ofimáticas (Word, Excel, PowerPoint)	☐	☐	☐	☐	☐
P2.4 Uso de plataformas educativas virtuales (Moodle, Teams)	☐	☐	☐	☐	☐
P2.5 Gestión de archivos en la nube (Subir/descargar archivos)	☐	☐	☐	☐	☐

Bloque 3 — Disposición y preferencias pedagógicas

P3.1. ¿Estaría dispuesto/a a utilizar un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) como apoyo a sus clases presenciales o asincrónicas?

Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
☐	☐	☐	☐	☐

P3.2. ¿En qué idioma preferiría que esté disponible la interfaz principal del Entorno Virtual de Aprendizaje?

☐ Kichwa y español (Bilingüe)	☐ Solo Kichwa
☐ Solo español	☐ Me es indiferente

Observaciones del encuestador (Uso exclusivo del investigador)

INSTRUMENTO 2: CUESTIONARIO DE USABILIDAD (SUS)**Evaluación del campus virtual**

Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe San Francisco de Asís

Aplicado a: ☐ Docente ☐ Estudiante**Código (ID):** _____ **Fecha de aplicación:** _____

Instrucciones: Marque con una X su grado de acuerdo con cada afirmación sobre el campus virtual, donde **1 = Totalmente en desacuerdo** y **5 = Totalmente de acuerdo**.

Afirmación	1	2	3	4	5
M1. Me gustaría utilizar el campus virtual con frecuencia.	☐	☐	☐	☐	☐
M2. Encuentro el campus virtual innecesariamente complejo.	☐	☐	☐	☐	☐
M3. El campus virtual es fácil de usar.	☐	☐	☐	☐	☐
M4. Necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizarlo.	☐	☐	☐	☐	☐
M5. Las funciones del campus virtual están bien integradas.	☐	☐	☐	☐	☐
M6. Hay demasiada inconsistencia en el campus virtual.	☐	☐	☐	☐	☐
M7. La mayoría aprendería a usar el campus virtual rápidamente.	☐	☐	☐	☐	☐
M8. El campus virtual es incómodo de usar.	☐	☐	☐	☐	☐
M9. Me siento seguro/a al usar el campus virtual.	☐	☐	☐	☐	☐
M10. Necesité aprender muchas cosas antes de poder manejarlo.	☐	☐	☐	☐	☐

Cálculo del puntaje SUS (Uso exclusivo en gabinete):

Ítems impares (M1, M3, M5, M7, M9): suma de (valor – 1) = _____

Ítems pares (M2, M4, M6, M8, M10): suma de (5 – valor) = _____

Puntaje SUS total = $2.5 \times (\text{suma impares} + \text{suma pares})$ = _____**Observaciones del encuestador**



CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica con el tema: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO VIRTUAL DE APRENDIZAJE BASADO EN MOODLE Y CLOUD COMPUTING, ALINEADO A LAS FASES PEDAGÓGICAS DEL MODELO DEL SISTEMA DE EDUCACIÓN INTERCULTURAL BILINGÜE (MOSEIB) EN IDIOMA KICHWA-ESPAÑOL, PARA LA GESTIÓN DE ACTIVIDADES ASINCRÓNICAS EN LAS FIGURAS PROFESIONALES DE MECATRÓNICA Y ELECTROMECAÁNICA AUTOMOTRIZ DE LA UECIB SAN FRANCISCO DE ASÍS, LORETO, ORELLANA"**, de Pardo Pinza Boris Geancarlos, de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin con un porcentaje de coincidencias del 4%; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

 Página 2 de 122 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega: trnoid::13622498831

4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 14 agosto del 2026


Ph.D. Juan Carlos Chancusig Chisag.
C.C.: 0502275779
TUTOR

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **"IMPLEMENTATION OF A VIRTUAL LEARNING ENVIRONMENT BASED ON MOODLE AND CLOUD COMPUTING, ALIGNED WITH THE PEDAGOGICAL PHASES OF THE INTERCULTURAL BILINGUAL EDUCATION SYSTEM MODEL (MOSEIB) IN KICHWA AND SPANISH, FOR THE MANAGEMENT OF ASYNCHRONOUS ACTIVITIES IN THE PROFESSIONAL SPECIALIZATIONS OF MECHATRONICS AND AUTOMOTIVE ELECTROMECHANICS AT UECIB SAN FRANCISCO DE ASÍS, LORETO, ORELLANA."** presentado por: **Pardo Pinza Boris Geancarlos**, egresado de la Carrera de: **Ingeniería en Sistemas de Información**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 14 de agosto del 2026

Atentamente,



DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
Santiago Gabriel Ramón Amores
CI: 0503568826



DE IDIOMAS



UNIDAD EDUCATIVA COMUNITARIA INTERCULTURAL BILINGÜE "SAN FRANCISCO DE ASÍS"

Resolución Ministerial N° 01136- AMIE: 22B00138

Educación Inicial- Básica – Bach. Téc. Elect. Automotriz - Mecatrónica

San Francisco de Asís, 15 de junio de 2026

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Por medio de la presente, se emite el presente **AVAL DE IMPLEMENTACIÓN** a favor del señor **Boris Geancarlos Pardo Pinza**, portador de la cédula de ciudadanía N.º **2200288021**, estudiante de la Carrera de Sistemas de Información de la Universidad Técnica de Cotopaxi, quien ha desarrollado e implementado en nuestra institución el trabajo de titulación denominado:

“Implementación de un Entorno Virtual de Aprendizaje basado en Moodle y Cloud Computing, alineado a las fases pedagógicas del Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) en idioma Kichwa-Español, para la gestión de actividades asincrónicas en las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz de la UECIB San Francisco de Asís, Loreto, Orellana”.

Certifico que la plataforma tecnológica entregada:

- Se encuentra actualmente desplegada y funcional sobre la infraestructura en la nube (Servidor Privado Virtual) gestionada para el efecto, haciendo uso de nuestro dominio institucional autorizado.
- Cumple cabalmente con los requerimientos técnicos y pedagógicos planteados por la institución, logrando la adaptación de los cursos a las cuatro fases del sistema de conocimientos del MOSEIB (Dominio, Aplicación, Creación y Socialización).
- Incorpora la interfaz bilingüe (Kichwa-Español), respetando nuestro modelo educativo intercultural.
- Ha sido validada mediante su aplicación directa con la participación de los docentes y estudiantes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz.

Esta implementación representa un valioso aporte al desarrollo tecnológico y pedagógico de nuestra unidad educativa, facilitando la organización, el acceso y el seguimiento de las actividades académicas asincrónicas de nuestros estudiantes, fortaleciendo así la calidad de la educación técnica que brindamos a la comunidad.

La institución asume, a partir de esta fecha, el compromiso de continuar utilizando y administrando la plataforma implementada, de acuerdo con los lineamientos de autogestión establecidos y la transferencia de conocimientos recibida.

Se extiende el presente documento a petición de la parte interesada, únicamente para los fines académicos que considere pertinentes.

Atentamente,

MSc. Narcisa Licuy
RECTORA U.E.C.I.B. "SAN FRANCISCO DE ASÍS"

narcisa.licuy@educacion.gob.ec

MSc. Narcisa Licuy

Rectora

Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe "San Francisco de Asís"

Presente.-

ASUNTO: Solicitud de autorización para implementación de proyecto de titulación: "Entorno Virtual de Aprendizaje basado en Moodle y Cloud Computing alineado al MOSEIB".

De mi consideración:

Por medio de la presente, me dirijo a usted respetuosamente para solicitar su autorización para llevar a cabo la implementación de mi proyecto de titulación, denominado:

"Implementación de un Entorno Virtual de Aprendizaje basado en Moodle y Cloud Computing, alineado a las fases pedagógicas del Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) en idioma Kichwa-Español, para la gestión de actividades asincrónicas en las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz de la UECIB San Francisco de Asís, Loreto, Orellana".

El proyecto consiste en diseñar e implementar un aula virtual (Moodle) alojada en infraestructura en la nube (Cloud Computing), con interfaz bilingüe Kichwa-Español y estructura de cursos organizada según las cuatro fases pedagógicas del MOSEIB. Esta plataforma permitirá a docentes y estudiantes gestionar recursos, tareas, evaluaciones y comunicación asincrónica, mejorando la organización y el seguimiento académico de las especialidades técnicas que ofrece la institución.

Para la ejecución de este trabajo, se requiere:

1. Autorización formal para realizar el levantamiento de información, pruebas y despliegue de la plataforma en las instalaciones de la unidad educativa.
2. Facilitar el acceso a los docentes y estudiantes de las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz para participar en las encuestas diagnósticas y de evaluación de usabilidad.
3. Aval institucional que respalde la implementación, el cual será incorporado como anexo en el trabajo de titulación.

Cabe señalar que los detalles, requerimientos y alcances para el desarrollo e implementación del presente proyecto se encuentran especificados en la propuesta técnica que se adjunta al presente oficio para su respectiva revisión.

Por lo expuesto, solicito comedidamente se sirva autorizar la ejecución del proyecto en los términos planteados, y se designe a la persona que estime conveniente para coordinar las actividades con el suscrito.

En espera de una respuesta favorable, le expreso mis sentimientos de consideración y respeto.

Atentamente,

Boris Geancarlos Pardo Pinza

C.I. 2200288021

Estudiante de la Carrera de Sistemas de Información | Universidad Técnica de Cotopaxi

boris.pardo8021@utc.edu.ec

Anexo: Propuesta Técnica para la Implementación del Entorno Virtual de Aprendizaje

PROPUESTA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ENTORNO VIRTUAL DE APRENDIZAJE

Basado en Moodle y Cloud Computing, alineado al MOSEIB

Bachillerato Técnico: Mecatrónica y Electromecánica Automotriz

Presentado a:

MSc. Narcisa Licuy

Rectora de la Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe "San Francisco de Asís"

Loreto – Orellana – Ecuador

05 de mayo de 2026

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

La Unidad Educativa Comunitaria Intercultural Bilingüe "San Francisco de Asís" es la única institución pública del distrito 22D02 que oferta el Bachillerato Técnico en Mecatrónica, además de Electromecánica Automotriz. Actualmente, las actividades académicas se desarrollan principalmente de forma presencial y mediante herramientas de comunicación no diseñadas para fines educativos (WhatsApp, correo personal), lo que dificulta la organización de contenidos, el seguimiento de tareas y la retroalimentación a los estudiantes. La institución no dispone de un entorno virtual de aprendizaje que responda a las características del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe ni que permita integrar las fases pedagógicas del MOSEIB.

El presente proyecto surge como respuesta a esta necesidad, proponiendo la implementación de un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) basado en Moodle y desplegado sobre infraestructura Cloud Computing, con interfaz bilingüe Kichwa-Español y estructura de cursos alineada al MOSEIB. La solución será alojada en un servidor privado virtual (VPS) contratado por la institución, y contará con un dominio institucional propio (uecibsf.edu.ec) registrado ante NIC.EC, garantizando identidad institucional verificable, correos profesionales y control total sobre los datos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Implementar un Entorno Virtual de Aprendizaje basado en Moodle y Cloud Computing, alineado a las fases pedagógicas del MOSEIB y con interfaz bilingüe Kichwa-Español, para mejorar la organización, acceso y seguimiento de las actividades asincrónicas en las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz.

2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la infraestructura tecnológica, conectividad y alfabetización digital de docentes y estudiantes.
- Diseñar la arquitectura Cloud del LMS y la estructura de cursos virtuales conforme a las cuatro fases del MOSEIB (dominio, aplicación, creación y socialización).
- Implementar y configurar la plataforma Moodle con contenidos técnicos para las asignaturas de ambas figuras profesionales.
- Evaluar la usabilidad percibida mediante la Escala SUS y complementar con métricas de adopción extraídas de los reportes de Moodle.

3. ALCANCE

La propuesta comprende el diseño, implementación y configuración de un EVA basado en Moodle, desplegado sobre infraestructura IaaS (VPS Hostinger KVM 2), y adaptado al contexto intercultural bilingüe. Incluye:

- Portal web institucional (uecibsf.edu.ec) desarrollado a medida.
- Campus virtual (campus.uecibsf.edu.ec) con Moodle.
- Interfaz bilingüe Kichwa-Español (paquete de idioma propio construido para la variante amazónica).
- Estructura de cursos organizada por fases MOSEIB.
- Políticas de sostenibilidad: respaldos diarios, límite de subida de 5 MB, pasarela SMTP gratuita y cronograma escalonado de cierres.

El alcance se limita a las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz, con una población de diagnóstico de 38 personas (8 docentes y 30 estudiantes).

4. TECNOLOGÍAS Y ARQUITECTURA

4.1 Infraestructura Cloud (IaaS)

- **Proveedor:** Hostinger, plan KVM 2.
- **Especificaciones:** 2 vCPU, 8 GB RAM, 100 GB NVMe, 8 TB transferencia mensual.
- **Sistema operativo:** Ubuntu Server 22.04 LTS.
- **Ubicación:** Centro de datos en Boston, EE.UU. (latencia estimada 105 ms).

4.2 Pila de software

- Panel de control: aaPanel (código abierto, gratuito).
- Servidor web: Nginx 1.24.0.

- Base de datos: MySQL 8.0.45.
- Entorno de ejecución: PHP 8.2.31.
- Caché: Redis 6.0.16 y OPcache.
- LMS: Moodle 4.3.11+ (LTS).
- Tema adaptable: Boost.
- Certificados SSL/TLS: Let's Encrypt (renovación automática).

4.3 Dominio institucional

- **Dominio:** uecibsf.edu.ec (registrado ante NIC.EC).
- **Subdominio:** campus.uecibsf.edu.ec para el aula virtual.
- **Registros DNS:** A, CNAME, MX y TXT/SPF configurados.

5. ESTRUCTURA PEDAGÓGICA (MOSEIB)

Cada curso se organiza en cuatro secciones correspondientes a las fases del sistema de conocimientos del MOSEIB:

1. **Dominio del conocimiento:** recursos y actividades iniciales (sensopercepción, problematización, desarrollo de contenidos, verificación y conclusión).
2. **Aplicación del conocimiento:** ejercicios y prácticas que evocan lo aprendido.
3. **Creación del conocimiento:** proyectos y propuestas originales.
4. **Socialización del conocimiento:** foros, exposiciones y retroalimentación comunitaria.

Se utilizarán recursos de Moodle: archivos, carpetas, páginas, URL y libros, así como actividades: tareas, cuestionarios, foros y consultas.

6. INTERFAZ BILINGÜE KICHWA-ESPAÑOL

Se ha construido un paquete de idioma propio para la variante **Kichwa amazónico (Napo/Pastaza)**, con código ISO 639-3 qvo. La versión 0.1 incluye 73 cadenas núcleo, de las cuales el 60,3 % cuentan con traducción propuesta y el 39,7 % se conservan en español (idioma padre configurado). Las traducciones se han contrastado con fuentes lexicográficas institucionales (MinEduc/DINEIB). Se prevé una validación final con hablantes nativos de la comunidad.

7. PROPUESTA VISUAL PRELIMINAR

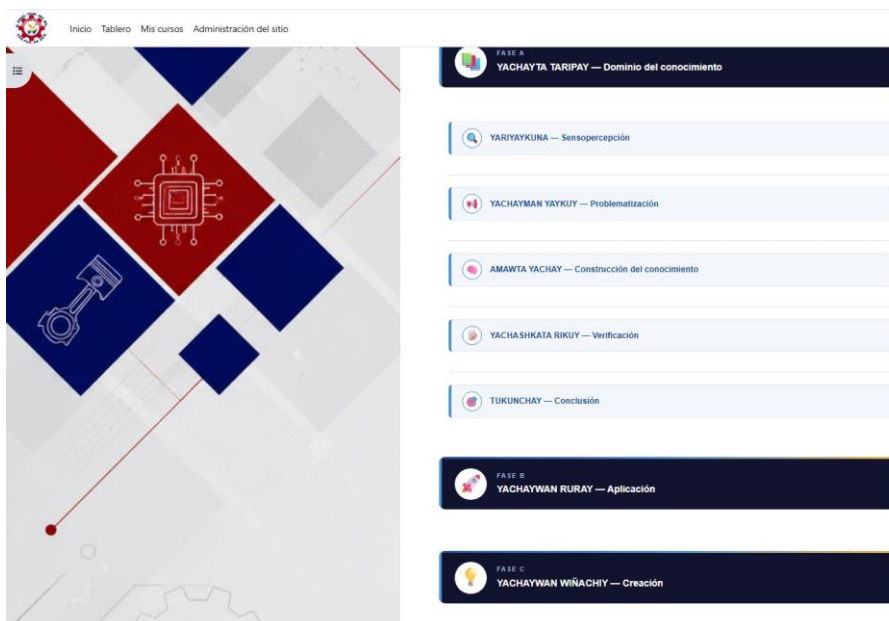
Con el fin de ilustrar el alcance de esta iniciativa, se presenta a continuación una vista preliminar del portal web institucional y del aula virtual Moodle. Estas vistas

son una maqueta demostrativa; el desarrollo definitivo se realizará una vez otorgada la autorización.

7.1 Portal web institucional



7.2 Aula virtual Moodle



Enlace de la maqueta y código QR.

Para revisar la propuesta visual en línea, puede acceder a la siguiente dirección preliminar de demostración:

Acceder a la maqueta en línea

(Disponible en: boris-pardo.github.io/pagina_web_uecibsf/)

Escanee el código QR para acceder a la demostración en línea.



8. MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CUMPLIMIENTO LEGAL

8.1 Seguridad informática

- Cifrado SSL/TLS (HTTPS) con calificación A+ en Qualys SSL Labs.
- Control de acceso por roles (administrador, docente, estudiante).
- Respallos diarios automatizados (externalizados a la nube).
- Actualizaciones y parches de seguridad.
- Cortafuegos y protección contra fuerza bruta (fail2ban).
- Contraseñas robustas y MFA disponible (complemento instalado).
- Registro de actividad (logs) para auditoría.

8.2 Cumplimiento normativo

- **Constitución de la República:** arts. 26 y 347 (derecho a la educación e incorporación de TIC).
- **LOEI:** promueve el uso de TIC en educación y reconoce la autonomía institucional.
- **LOPDP:** se observarán los principios de minimización, consentimiento (representantes legales para menores), seguridad desde el diseño, y derechos de acceso, rectificación, eliminación y revocatoria. Se elaborarán consentimientos informados y asentimientos para los estudiantes.
- **NTE INEN-ISO/IEC 40500:** accesibilidad web (WCAG 2.0), orienta el diseño de la interfaz.

9. FINANCIAMIENTO Y COSTOS

El proyecto se financia con recursos de autogestión institucional y del estudiante. Los costos desembolsados son:

Rubro	Detalle	Costo (USD)
Dominio .edu.EC	Registro y renovación anual ante NIC.EC (factura real)	48,30
VPS Hostinger KVM 2	Primer año (plan promocional), factura real	117,48
Total primer año		165,78

A partir del segundo año, el costo recurrente estimado (a precios de renovación) es de aproximadamente 214,13 a 256,13 USD anuales (VPS + dominio). La institución asume estos costos después de un año de la implementación.

10. CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN

Fase	Actividad	Período
1	Diagnóstico y levantamiento de requerimientos	9-15 de abril de 2026
2	Diseño de arquitectura y estructura de cursos	Abril-mayo de 2026
3	Aprobación institucional y contratación de servicios	18-20 de mayo de 2026
4	Implementación (servidor, DNS, portal, campus, políticas)	Mayo-junio de 2026
5	Inicio de uso académico real	6 de junio de 2026
6	Pruebas de funcionamiento (carga, respaldos, SSL, SMTP)	1-31 de julio de 2026
7	Evaluación de usabilidad (SUS) y métricas de adopción	6-10 de julio de 2026
8	Redacción de informe y entrega final	Agosto de 2026

11. PETICIÓN CONCRETA A LA RECTORÍA

Por todo lo expuesto, el estudiante **Boris Geancarlos Pardo Pinza** solicita respetuosamente a la MSc. Narcisa Licuy, Rectora de la UECIB "San Francisco de Asís":

- **Autorizar** la implementación del proyecto de titulación en las instalaciones de la institución.
- **Designar** enlaces institucionales (docentes) para coordinar el acceso a estudiantes, espacios y recursos.
- **Emitir** el aval institucional correspondiente que será adjuntado en el trabajo de titulación.

12. RESPONSABILIDAD Y FIRMA

Boris Geancarlos Pardo Pinza

C.I. 2200288021

Estudiante de la Carrera de Sistemas de Información

Universidad Técnica de Cotopaxi

San Francisco de Asís, 05 de mayo de 2026



UNIDAD EDUCATIVA COMUNITARIA INTERCULTURAL BILINGÜE "SAN FRANCISCO DE ASÍS"

Resolución Ministerial N° 01136- AMIE: 22B00138

Educación Inicial- Básica – Bach. Téc. Elect. Automotriz - Mecatrónica

Oficio N.º 371-R-UECIBSFA-2026

San Francisco de Asís, 18 de mayo de 2026

Sr. Boris Geancarlos Pardo Pinza

Estudiante de la Carrera de Sistemas de Información

Universidad Técnica de Cotopaxi

Presente.-

ASUNTO: Autorización para implementación de proyecto de titulación: "Entorno Virtual de Aprendizaje basado en Moodle y Cloud Computing alineado al MOSEIB".

De mi consideración:

En atención a su oficio N.º 001-SIS-2026 de fecha 05 de mayo de 2026, mediante el cual solicita autorización para ejecutar su proyecto de titulación en nuestra institución, me permito comunicarle lo siguiente:

Luego de analizar la propuesta técnica presentada, esta Rectoría ha resuelto **AUTORIZAR** la implementación del proyecto denominado *"Implementación de un Entorno Virtual de Aprendizaje basado en Moodle y Cloud Computing, alineado a las fases pedagógicas del Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) en idioma Kichwa-Español, para la gestión de actividades asincrónicas en las figuras profesionales de Mecatrónica y Electromecánica Automotriz"*.

Para tal efecto, se le designa como enlace institucional a los siguientes docentes, quienes facilitarán el acceso a la información, estudiantes y espacios físicos necesarios para el levantamiento de datos y pruebas de la plataforma:

- **Ing. Damián Pinza, Mgs.** – Coordinador de Área Técnica y responsable de las figuras profesionales.
 - Correo electrónico: damian.pinza@educacion.gob.ec
 - Teléfono de contacto: 0996909792
- **Lcda. Catherine Villón** – Docente de la figura profesional de Mecatrónica.
 - Correo electrónico: catherine.villon@educacion.gob.ec
 - Teléfono de contacto: 0969166109

Es importante destacar que, analizando la magnitud y el beneficio institucional que representa este proyecto para nuestra comunidad educativa, especialmente por tratarse de una institución rural de la Amazonía que valora profundamente la Educación Intercultural Bilingüe, la Unidad Educativa ha considerado oportuno asumir los costos correspondientes al registro del dominio institucional y la contratación del servicio de hosting, como un esfuerzo mínimo en agradecimiento por tan valiosa contribución al avance tecnológico de nuestra institución.

En este sentido, se dispone que los registros de los servicios contratados (dominio y hosting) queden a nombre de los docentes designados como enlaces, a fin de garantizar la administración y sostenibilidad de la plataforma a largo plazo, con el debido respaldo institucional.

Finalmente, agradezco su interés y compromiso con la educación de nuestra comunidad, y le deseo el mayor de los éxitos en la ejecución de este importante trabajo de titulación.

Atentamente,

MSc. Narcisa Licuy
RECTORA U.E.C.I.B. "SAN FRANCISCO DE ASÍS"
narcisa.licuy@educacion.gob.ec

Anexo F. Reporte del análisis externo de seguridad del transporte

Reporte íntegro del análisis practicado al campus virtual `campus.uecibsf.edu.ec` por el servicio externo Qualys SSL Labs el 24 de julio de 2026, del que proceden la calificación A+ y las verificaciones de protocolo, cifrado y cabeceras reportadas en la Tabla 5.21. Los resultados de las restantes pruebas de funcionamiento se reportan íntegramente en el cuerpo del informe: la prueba de carga en la Tabla 5.18, la de respaldo y restauración en la Tabla 5.19, la de correo saliente en la Tabla 5.20 y la verificación de adaptabilidad móvil y de idioma en la Tabla 5.22 y la Figura 5.36.

You are here: [Home](#) > [Projects](#) > [SSL Server Test](#) > campus.uecibsf.edu.ec

SSL Report: campus.uecibsf.edu.ec (145.79.0.34)

Assessed on: Fri, 24 Jul 2026 11:00:47 UTC | [Hide](#) | [Clear cache](#)

[Scan Another »](#)

Summary

Overall Rating

A+

Certificate

Protocol Support

Key Exchange

Cipher Strength

020406080100

Visit our [documentation page](#) for more information, configuration guides, and books. Known issues are documented [here](#).

This server supports TLS 1.3. [MORE INFO »](#)

This server does not support PQC (Post-Quantum Cryptography) key exchange.

HTTP Strict Transport Security (HSTS) with long duration deployed on this server. [MORE INFO »](#)

Certificate #1: RSA 2048 bits (SHA256withRSA)



Server Key and Certificate #1

Subject	campus.uecibsf.edu.ec Fingerprint SHA256: 9dcc19cbd526b50b8bf9812b81a637480d7196026e4c506f1a8b7afe3ac6ef29 Pin SHA256: eEI1/omIbCvGdNzXxHrQvSOK8sF7aMTI5dqS0+EB4eE=
Common names	campus.uecibsf.edu.ec
Alternative names	campus.uecibsf.edu.ec
Serial Number	05d2732ae61fc1a096ce680d150895d1fc37
Valid from	Thu, 16 Jul 2026 22:30:29 UTC
Valid until	Wed, 14 Oct 2026 22:30:28 UTC (expires in 2 months and 20 days)
Key	RSA 2048 bits (e 65537)
Weak key (Debian)	No
Issuer	YR1 AIA: http://yr1.i.lencr.org/
Signature algorithm	SHA256withRSA
Extended Validation	No
Certificate Transparency	Yes (certificate)
OCSP Must Staple	No
Revocation information	CRL CRL: http://yr1.c.lencr.org/56.crl
Revocation status	Validation error CRL ERROR: IOException occurred
DNS CAA	No (more info)
Trusted	Yes Mozilla Apple Android Java Windows



Additional Certificates (if supplied)

Certificates provided	3 (4065 bytes)
Chain issues	None

#2

Additional Certificates (if supplied)

Subject	YR1
	Fingerprint SHA256: 13949634d99cd6fd6aa80bc034fefacceb1969feef986586713ecd5b05758d3f
	Pin SHA256: LoMHBotttDko50Gi13uXW71ely7LAAttI+rYT8wXF4w=
Valid until	Sat, 02 Sep 2028 23:59:59 UTC (expires in 2 years and 1 month)
Key	RSA 2048 bits (e 65537)
Issuer	Root YR
Signature algorithm	SHA256withRSA

#3

Subject	Root YR
	Fingerprint SHA256: 072639d0b140d5bfae16ad9c3f6cc6086040621f51ee61a6d46a8915c07cf76
	Pin SHA256: fk6lOKit1ld5647BH06ujSIq5XbCgqlbYl6ANhhi88=
Valid until	Thu, 02 Sep 2032 23:59:59 UTC (expires in 6 years and 1 month)
Key	RSA 4096 bits (e 65537)
Issuer	ISRG Root X1
Signature algorithm	SHA256withRSA



Certification Paths



Click here to expand

Configuration



Protocols

TLS 1.3	Yes
TLS 1.2	Yes
TLS 1.1	No
TLS 1.0	No
SSL 3	No
SSL 2	No



Cipher Suites

# TLS 1.3 (server has no preference)			
TLS_AES_128_GCM_SHA256 (0x1301)	ECDH x25519 (eq. 3072 bits RSA) FS		128
TLS_AES_256_GCM_SHA384 (0x1302)	ECDH x25519 (eq. 3072 bits RSA) FS		256
TLS_CHACHA20_POLY1305_SHA256 (0x1303)	ECDH x25519 (eq. 3072 bits RSA) FS		256
# TLS 1.2 (server has no preference)			
TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256 (0xc02f)	ECDH secp521r1 (eq. 15360 bits RSA) FS		128
TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384 (0xc030)	ECDH secp521r1 (eq. 15360 bits RSA) FS		256
TLS_ECDHE_RSA_WITH_CHACHA20_POLY1305_SHA256 (0xc0a8)	ECDH secp521r1 (eq. 15360 bits RSA) FS		256



Handshake Simulation

Android 4.4.2	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp521r1 FS
Android 5.0.0	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256	ECDH secp521r1 FS
Android 6.0	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > http/1.1	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256	ECDH secp256r1 FS
Android 7.0	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_CHACHA20_POLY1305_SHA256	ECDH x25519 FS
Android 8.0	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_CHACHA20_POLY1305_SHA256	ECDH x25519 FS
Android 8.1	-	TLS 1.3	TLS_CHACHA20_POLY1305_SHA256	ECDH x25519 FS
Android 9.0	-	TLS 1.3	TLS_CHACHA20_POLY1305_SHA256	ECDH x25519 FS
BingPreview Jan 2015	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp521r1 FS
Chrome 49 / XP SP3	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256	ECDH secp256r1 FS
Chrome 69 / Win 7 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256	ECDH x25519 FS
Chrome 70 / Win 10	-	TLS 1.3	TLS_AES_128_GCM_SHA256	ECDH x25519 FS
Chrome 80 / Win 10 R	-	TLS 1.3	TLS_AES_128_GCM_SHA256	ECDH x25519 FS
Chrome 131 / Win 10 R	-	TLS 1.3	TLS_AES_128_GCM_SHA256	ECDH x25519 FS

Handshake Simulation

Firefox 31.3.0 ESR / Win 7	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256	ECDH secp256r1	FS
Firefox 47 / Win 7 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256	ECDH secp256r1	FS
Firefox 49 / XP SP3	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256	ECDH secp256r1	FS
Firefox 62 / Win 7 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256	ECDH x25519	FS
Firefox 73 / Win 10 R	-	TLS 1.3	TLS_AES_128_GCM_SHA256	ECDH x25519	FS
Firefox 135 / Win 10 R	-	TLS 1.3	TLS_AES_128_GCM_SHA256	ECDH x25519	FS
Googlebot Feb 2018	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256	ECDH x25519	FS
IE 11 / Win 7 R	Server sent fatal alert: handshake_failure				
IE 11 / Win 8.1 R	Server sent fatal alert: handshake_failure				
IE 11 / Win Phone 8.1 R	Server sent fatal alert: handshake_failure				
IE 11 / Win Phone 8.1 Update R	Server sent fatal alert: handshake_failure				
IE 11 / Win 10 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp256r1	FS
Edge 15 / Win 10 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH x25519	FS
Edge 16 / Win 10 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH x25519	FS
Edge 18 / Win 10 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH x25519	FS
Edge 131 / Win 10 R	-	TLS 1.3	TLS_AES_128_GCM_SHA256	ECDH x25519	FS
Edge 13 / Win Phone 10 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp256r1	FS
Java 8u161	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp256r1	FS
Java 11.0.3	-	TLS 1.3	TLS_AES_128_GCM_SHA256	ECDH secp256r1	FS
Java 12.0.1	-	TLS 1.3	TLS_AES_128_GCM_SHA256	ECDH secp256r1	FS
OpenSSL 1.0.1j R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp521r1	FS
OpenSSL 1.0.2s R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp256r1	FS
OpenSSL 1.1.0k R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH x25519	FS
OpenSSL 1.1.1c R	-	TLS 1.3	TLS_AES_256_GCM_SHA384	ECDH x25519	FS
Opera 117 / Win 10 R	-	TLS 1.3	TLS_AES_128_GCM_SHA256	ECDH x25519	FS
Safari 6 / iOS 6.0.1	Server sent fatal alert: handshake_failure				
Safari 7 / iOS 7.1 R	Server sent fatal alert: handshake_failure				
Safari 7 / OS X 10.9 R	Server sent fatal alert: handshake_failure				
Safari 8 / iOS 8.4 R	Server sent fatal alert: handshake_failure				
Safari 8 / OS X 10.10 R	Server sent fatal alert: handshake_failure				
Safari 9 / iOS 9 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp256r1	FS
Safari 9 / OS X 10.11 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp256r1	FS
Safari 10 / iOS 10 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp256r1	FS
Safari 10 / OS X 10.12 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp256r1	FS
Safari 12.1.2 / MacOS 10.14.6 Beta R	-	TLS 1.3	TLS_CHACHA20_POLY1305_SHA256	ECDH x25519	FS
Safari 12.1.1 / iOS 12.3.1 R	-	TLS 1.3	TLS_CHACHA20_POLY1305_SHA256	ECDH x25519	FS
Apple ATS 9 / iOS 9 R	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2 > h2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp256r1	FS
Yahoo Slurp Jan 2015	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp384r1	FS
YandexBot Jan 2015	RSA 2048 (SHA256)	TLS 1.2	TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384	ECDH secp521r1	FS

Not simulated clients (Protocol mismatch)



Click here to expand

- (1) Clients that do not support Forward Secrecy (FS) are excluded when determining support for it.
(2) No support for virtual SSL hosting (SNI). Connects to the default site if the server uses SNI.
(3) Only first connection attempt simulated. Browsers sometimes retry with a lower protocol version.
(R) Denotes a reference browser or client, with which we expect better effective security.
(All) We use defaults, but some platforms do not use their best protocols and features (e.g., Java 6 & 7, older IE).
(All) Certificate trust is not checked in handshake simulation, we only perform TLS handshake.



Protocol Details

Secure Renegotiation	Supported
Secure Client-Initiated Renegotiation	No
Insecure Client-Initiated Renegotiation	No
BEAST attack	Mitigated server-side (more info)
POODLE (SSLv3)	No, SSL 3 not supported (more info)
POODLE (TLS)	No (more info)
Zombie POODLE	No (more info)

Protocol Details

GOLDENDOODLE	No (more info)
OpenSSL 0-Length	No (more info)
Sleeping POODLE	No (more info)
Downgrade attack prevention	Yes, TLS_FALLBACK_SCSV supported (more info)
SSL/TLS compression	No
RC4	No
Heartbeat (extension)	No
Heartbleed (vulnerability)	No (more info)
Ticketbleed (vulnerability)	No (more info)
OpenSSL CCS vuln. (CVE-2014-0224)	No (more info)
OpenSSL Padding Oracle vuln. (CVE-2016-2107)	No (more info)
ROBOT (vulnerability)	No (more info)
Forward Secrecy	Yes (with most browsers) ROBUST (more info)
ALPN	Yes h2 http/1.1
NPN	No
Session resumption (caching)	Yes
Session resumption (tickets)	Yes
OCSP stapling	No
Strict Transport Security (HSTS)	Yes max-age=31536000
HSTS Preloading	Not in: Chrome Edge Firefox IE
Public Key Pinning (HPKP)	No (more info)
Public Key Pinning Report-Only	No
Public Key Pinning (Static)	No (more info)
Long handshake intolerance	No
TLS extension intolerance	No
TLS version intolerance	No
Incorrect SNI alerts	No
Uses common DH primes	No, DHE suites not supported
DH public server param (Ys) reuse	No, DHE suites not supported
ECDH public server param reuse	No
Supported Named Groups	x25519, secp256r1, x448, secp521r1, secp384r1 (server preferred order)
PQC Key Exchange	Not Supported
Supported PQC Groups	-
SSL 2 handshake compatibility	No
0-RTT enabled	No



HTTP Requests



1 https://campus.uecibsf.edu.ec/ (HTTP/1.1 200 OK)



Miscellaneous

Test date	Fri, 24 Jul 2026 10:59:40 UTC
Test duration	66.470 seconds
HTTP status code	200
HTTP server signature	nginx
Server hostname	srv1832290.hstgr.cloud

Anexo G. Facturas y comprobantes de los servicios contratados

Facturas o comprobantes de pago del VPS (Hostinger, plan KVM 2, 117,48 USD) y del dominio uecibsfa.edu.ec (NIC.ec, 48,30 USD), que sustentan las cifras del presupuesto (Tabla 4.29) y del análisis de costo-beneficio (Tabla 5.28).

Hostinger International Ltd.
61 Lordou Vironos Street
Larnaca 6023
Cyprus
VAT Reg #: **CY10301365E**

INVOICE

Invoice # **HCY-27406683**
Invoice Issued # **Jul 15, 2026**
Invoice Amount # **\$117.48 (USD)**
Next Billing Date # **Jul 15, 2027**
Order Nr. # **hb_56546274**
PAID

BILLED TO
Damián Pinza
Ecuador
damian20pinza@gmail.com
593

DESCRIPTION	PRICE	DISCOUNT	TOTAL EXCL. VAT	VAT	AMOUNT (USD)
KVM 2 (billed every year)	\$233.88 x 1	(\$116.40)	\$117.48	\$0.00	\$117.48

Jul 15, 2026 to Jul 15, 2027

Total excl. VAT	\$117.48
Total	\$117.48
Payments	(\$117.48)
Amount Due (USD)	\$0.00



ECUADORDOMAIN S.A.

Matriz: Republica del Salvador N34-127 y Suiza
Quito, Pichincha, Ecuador
Teléfonos: 024016116 - 0983198683
Email: atencionalcliente@nic.ecpagos@nic.ec

Obligado a llevar contabilidad SI
Contribuyente Especial Nro. 964E

R.U.C.: 1792837626001

Nro. Factura: 001-010-000014733

Número de Autorización:
1507202601179283762600120010100000147331234567819

Fec.Autorización: 15/07/2026 13:53:12.000

Ambiente: PRODUCCION Emisión: NORMAL

CLAVE DE ACCESO:



1507202601179283762600120010100000147331234567819

Cliente: Jefferson Pinza
Cédula: 2200288013
Dirección: Loreto . Loreto Orellana, ECUADOR
Email: damian20pinza@gmail.com
Teléfono: 0996909792

Fecha Emisión: 15/07/2026
Vendedor: ***NO EXISTE***
Código cliente: 013324
Referencia:

Código	Descripción	Cant.	Precio U.	%	Dcto.	Total
dom004	Registro Dominio - uecibsf.edu.ec - 1 Anos 15-07-2026 - 15-07-2027	1.00	42.00	0.00	0.00	42.00

Forma de Pago	Valor
19 Tarjeta De Credito	48.30

Total Unidades	1.00	Subtotal	42.00
		Descuentos	.00
		Otros Descuentos	.00
		I.C.E.	.00
		Base 0%	.00
		Base 15%	42.00
		I.V.A. 15%	6.30
		Propina	.00
		Total General:	48.30

Entregado por

Cliente

Anexo H. Reportes de la auditoría técnica de la infraestructura Cloud

Salidas de consola, consultas al motor de base de datos y verificaciones de transporte obtenidas sobre el servidor de producción campus.uecibsf.edu.ec el 14 de agosto de 2026, conforme al protocolo de la sección 4.15. Los reportes se conservan sin edición, de modo que cada valor citado en la sección 5.3 pueda rastrearse hasta la salida que lo originó, y comprenden: inventario de hardware, virtualización y sistema operativo; estado, versiones y puertos de la capa de servicios; configuración del gestor de procesos de PHP y medición de memoria por proceso (RSS, PSS y USS) con el análisis de dimensionamiento resultante; métricas del motor de base de datos (tamaño, *buffer pool*, tasa de aciertos y conexiones); verificación de seguridad (cortafuegos, bloqueo por fuerza bruta, acceso remoto, transporte cifrado y aislamiento del directorio de datos); verificación de la tarea programada de Moodle; y cálculo de sostenibilidad del esquema de respaldo. Cada reporte se transcribe a continuación tal como lo devolvió el servidor, con la sola excepción de los parámetros de acceso, omitidos conforme al criterio de no divulgación declarado en la sección 4.10.7.

H.1. Inventario de hardware, virtualización y sistema operativo

```
===== 1. IDENTIFICACION DEL HOST / VIRTUALIZACION =====
Static hostname: srv1832290
      Icon name: computer-vm
      Chassis: vm
      Machine ID: 3d481ceb4fc642c49add50849cd796df
      Boot ID: 651a7553b5df44c7989a416832a07a3e
      Virtualization: kvm
Operating System: Ubuntu 22.04.5 LTS
      Kernel: Linux 5.15.0-185-generic
      Architecture: x86-64
Hardware Vendor: QEMU
      Hardware Model: Standard PC _i440FX + PIIX, 1996_
--- virtualizacion ---
kvm
flag hypervisor: presente

===== 2. CPU =====
Architecture: x86_64
CPU(s): 2
Vendor ID: AuthenticAMD
Model name: AMD EPYC 9354P 32-Core Processor
Thread(s) per core: 1
Core(s) per socket: 2
Socket(s): 1
Hypervisor vendor: KVM
Virtualization type: full
--- carga actual (1/5/15 min) ---
0.23 0.42 0.44 7/316 2070810

===== 3. MEMORIA =====
      total      used      free     shared buff/cache   available
Mem:    7.8Gi    1.8Gi    2.9Gi     520Mi     3.1Gi     5.1Gi
Swap:    0B         0B         0B

--- detalle ---
```

```
MemTotal:      8127300 kB
MemFree:       2993104 kB
MemAvailable:  5393856 kB
Buffers:       198568 kB
Cached:        2738872 kB
SwapTotal:     0 kB
SwapFree:      0 kB
```

===== 4. ALMACENAMIENTO =====

```
Filesystem      Type  Size  Used Avail Use% Mounted on
/dev/sda1       ext4   97G   11G   87G  11% /
/dev/sda15      vfat   105M   6.1M   99M   6% /boot/efi
```

--- tipo de disco (NVMe?) ---

```
NAME    SIZE  ROTA TYPE MODEL
loop0   63.8M   0 loop
loop1    74M   0 loop
loop2   50.1M   0 loop
loop4   115.1M   0 loop
loop5   50.1M   0 loop
loop6   115.3M   0 loop
sda      100G   0 disk QEMU HARDDISK
sr0       4M    1 rom  QEMU DVD-ROM
```

===== 5. SISTEMA OPERATIVO =====

```
PRETTY_NAME="Ubuntu 22.04.5 LTS"
NAME="Ubuntu"
VERSION_ID="22.04"
VERSION="22.04.5 LTS (Jammy Jellyfish)"
VERSION_CODENAME=jammy
kernel: 5.15.0-185-generic
uptime: up 4 weeks, 2 days, 3 hours, 54 minutes
arranque: 2026-07-15 17:18:55
```

H.2. Capa de servicios: versiones, estado, puertos y extensiones de PHP

===== CAPA DE SERVICIOS =====

--- Nginx ---

```
nginx version: nginx/1.24.0
```

--- PHP ---

```
PHP 8.2.31 (cli) (built: May 20 2026 09:04:56) (NTS)
```

```
Copyright (c) The PHP Group
```

--- MySQL/MariaDB ---

```
/www/server/mysql/bin/mysql Ver 8.0.45 for Linux on x86_64 (MySQL Community Server - GPL)
```

--- Redis ---

```
Redis server v=6.0.16 sha=00000000:0 malloc=jemalloc-5.2.1 bits=64 build=e91d7986ac6d5bb6
```

===== ESTADO DE SERVICIOS (systemd) =====

```
mysql      activo=active  arranque=enabled
mysql      activo=active  arranque=alias
redis      activo=active  arranque=alias
redis-server activo=active  arranque=enabled
fail2ban   activo=active  arranque=enabled
cron       activo=active  arranque=enabled
ssh        activo=active  arranque=enabled
```

===== PROCESOS CLAVE (conteo) =====

```
nginx workers : 4
php-fpm pool   : 20
```

```

mysql      : 2
redis      : 1

===== PUERTOS A LA ESCUCHA =====
State Recv-Q Send-Q Local Address:Port Peer Address:PortProcess
LISTEN 0      1024      127.0.0.1:65529 0.0.0.0:* users:(("monarx-agent",pid=1926321,fd=10))
LISTEN 0      1024      127.0.0.53 %lo:53 0.0.0.0:* users:(("systemd-resolve",pid=1847761,fd=14))
LISTEN 0      511        0.0.0.0:80 0.0.0.0:* users:(("nginx",pid=2065393,fd=9),("nginx",pid
↔→      =2065392,fd=9),("nginx",pid=19086,fd=9))
LISTEN 0      128        0.0.0.0:22 0.0.0.0:* users:(("sshd",pid=4412,fd=3))
LISTEN 0      511        0.0.0.0:443 0.0.0.0:* users:(("nginx",pid=2065393,fd=29),("nginx",pid
↔→      =2065392,fd=29),("nginx",pid=19086,fd=29))
LISTEN 0      511        0.0.0.0:8888 0.0.0.0:* users:(("webserver",pid=1983536,fd=8),("
↔→      webserver",pid=1983535,fd=8))
LISTEN 0      511        0.0.0.0:887 0.0.0.0:* users:(("nginx",pid=2065393,fd=34),("nginx",pid
↔→      =2065392,fd=34),("nginx",pid=19086,fd=34))
LISTEN 0      511        0.0.0.0:888 0.0.0.0:* users:(("nginx",pid=2065393,fd=8),("nginx",pid
↔→      =2065392,fd=8),("nginx",pid=19086,fd=8))
LISTEN 0      511        127.0.0.1:6379 0.0.0.0:* users:(("redis-server",pid=1984880,fd=6))
LISTEN 0      511          [::1]:6379 [::]:* users:(("redis-server",pid=1984880,fd=7))
LISTEN 0      128          [::]:22 [::]:* users:(("sshd",pid=4412,fd=4))
LISTEN 0      70          *:33060 *:~ users:(("mysqld",pid=23471,fd=19))
LISTEN 0      511          [::]:8888 [::]:* users:(("webserver",pid=1983536,fd=9),("
↔→      webserver",pid=1983535,fd=9))
LISTEN 0      500          *:3306 *:~ users:(("mysqld",pid=23471,fd=23))

===== EXTENSIONES PHP RELEVANTES PARA MOODLE =====
[PHP Modules] bcmath Core ctype curl date dom exif fileinfo filter ftp gd gettext hash iconv igbinary intl
↔→      json libxml mbstring mysqli mysqlnd openssl
pcntl pcre PDO pdo_mysql pdo_sqlite Phar posix random redis Reflection session shmop SimpleXML soap
↔→      sockets sodium SPL sqlite3 standard sysvsem token
izer xml xmlreader xmlwriter Zend OPcache zip zlib zstd [Zend Modules] Zend OPcache

```

H.3. Configuración del gestor de procesos de PHP

```

===== DIMENSIONAMIENTO PHP-FPM: RIESGO DE AGOTAMIENTO DE RAM =====

--- Configuración vigente (/www/server/php/82/etc/php-fpm.conf) ---
pm = dynamic
pm.status_path = /phpfpm_82_status
pm.max_children = 100
pm.start_servers = 10
pm.min_spare_servers = 10
pm.max_spare_servers = 30
request_terminate_timeout = 100

--- Consumo medido de los procesos worker (RSS) ---
workers activos : 21
promedio RSS : 177.5 MB
minimo RSS : 1.8 MB
maximo RSS : 247.0 MB
total ocupado : 3727 MB

--- Proyección con pm.max_children = 100 ---
RAM total del VPS : 7937 MB
Escenario promedio (169.5 MB) : 16950 MB requeridos = 2.14 x la RAM disponible
Escenario pico (247.0 MB) : 24700 MB requeridos = 3.11 x la RAM disponible

```

>> La configuracion permite reservar mas memoria de la que el VPS posee.

Limite seguro (70 % RAM / promedio) : pm.max_children = 32

Limite seguro (70 % RAM / pico) : pm.max_children = 22

--- Agravante: ausencia de memoria de intercambio ---

Swap configurado: 0 MB

Sin swap, el agotamiento de RAM no degrada el rendimiento: activa el OOM killer del kernel y termina procesos (tipicamente mysqld o php-fpm), provocando caida del servicio.

--- Evidencia de eventos OOM en el historico del kernel ---

No se registran eventos OOM hasta la fecha (la holgura actual lo ha evitado).

--- Concurrencia real observada frente al limite configurado ---

Workers PHP-FPM en este momento : 20 de 100 permitidos

H.4. Medición de memoria por proceso (RSS, PSS y USS)

===== MEDICION RIGUROSA: RSS vs PSS vs USS EN PHP-FPM =====

RSS = incluye paginas compartidas (sobrestima)

PSS = reparte las compartidas entre procesos (metrica correcta para sumar)

USS = memoria exclusiva del proceso (coste incremental de un worker mas)

PID	RSS(MB)	PSS(MB)	USS(MB)
2065422	221.4	21.6	6.0
2065423	229.4	22.3	5.3
2065424	224.5	23.9	7.6
2065425	247.0	28.5	8.5
2065426	217.2	21.7	6.3
2065427	181.5	16.8	5.5
2065428	246.7	26.8	6.3
2065429	211.8	20.8	6.3
2065430	202.2	19.3	5.7
2065432	243.4	28.3	10.3
2065515	207.4	19.3	5.7
2065517	212.8	20.7	5.8
2066562	165.2	14.3	4.4
2066563	131.4	11.7	4.2
2066564	182.4	17.8	6.5
2066574	211.6	21.6	5.8
2069027	121.0	12.7	6.0
2069028	123.4	11.5	4.4
2069029	142.8	13.3	4.3
2071236	3.6	0.6	0.4

Procesos medidos : 20

PSS total ocupado : 374 MB

PSS promedio/proceso : 18.7 MB

USS promedio/proceso : 5.8 MB <-- coste real de anadir un worker

===== PROYECCION CORREGIDA CON pm.max_children = 100 =====

RAM total del VPS : 7937 MB

Proyeccion con PSS (18.7 MB x 100) : 1871 MB = 0.24 x la RAM

Proyeccion con USS (5.8 MB x 100) : 581 MB = 0.07 x la RAM

pm.max_children recomendado (70 % RAM / PSS) : 297

pm.max_children recomendado (60 % RAM / PSS) : 254

H.5. Análisis de dimensionamiento de la memoria

```
===== ANALISIS DEFINITIVO DEL DIMENSIONAMIENTO DE MEMORIA =====

--- Reparto actual de RAM por servicio (PSS, metrica sumable) ---
php-fpm           376 MB
mysqld            924 MB
nginx             65 MB
redis-server      4 MB
SISTEMA           7936 MB (total) | 1881 MB en uso | 5239 MB disponibles

===== POR QUE EL DATO DE 229 MB/PROCESO NO ES DEFENDIBLE =====

El valor ~229 MB corresponde al RSS. El RSS cuenta COMPLETO en cada proceso
la memoria que en realidad esta COMPARTIDA entre todos (codigo de PHP, OPcache,
librerias). Sumar el RSS de 100 procesos cuenta esas paginas 100 veces.

Medicion correcta en este servidor:
RSS promedio : 195.7 MB (sobreestimado, no sumable)
PSS promedio : 18.7 MB (memoria real atribuible a cada worker)
USS promedio : 5.8 MB (coste incremental de anadir un worker)

Un tribunal puede rebatir el argumento de 229 MB. El argumento SI defendible
se construye sobre el limite configurado de PHP, no sobre el RSS en reposo:

===== ARGUMENTO DEFENDIBLE: memory_limit COMO COTA SUPERIOR =====
memory_limit de PHP      : 128 MB por peticion (techo que PHP permite usar)
pm.max_children          : 100 workers simultaneos permitidos
Demanda maxima teorica PHP : 100 x 128 MB = 12800 MB
RAM fisica del VPS       : 7937 MB
MySQL ya reserva         : ~923 MB
Margen real para PHP     : ~6514 MB

>> En el peor caso PHP puede exigir 1.6 veces la RAM fisica.
>> Techo seguro por memory_limit: pm.max_children = 50

Con swap = 0, superar ese techo no degrada: el kernel activa el OOM killer.

===== CONCLUSION PARA LA TESIS =====
El riesgo de pm.max_children=100 es REAL, pero debe justificarse asi:
1) PHP admite hasta 128 MB por peticion (memory_limit).
2) 100 peticiones concurrentes pueden exigir hasta 12.8 GB.
3) El VPS dispone de 7.75 GB y no tiene swap.
4) Por tanto el limite no esta acotado por la capacidad fisica del nodo.
5) El escenario probado (60 usuarios) no lo activo porque la concurrencia
   real de procesos PHP fue muy inferior a la concurrencia de usuarios.
```

H.6. Motor de base de datos: tamaño, *buffer pool*, tasa de aciertos y conexiones

```
===== BASE DE DATOS MySQL 8.0.45 =====

--- Tamano de la base de datos ---
total=33.27 MB | datos=18.38 MB | indices=14.89 MB | tablas=483

--- InnoDB Buffer Pool ---
innodb_buffer_pool_instances      1
innodb_buffer_pool_size           536870912
innodb_flush_log_at_trx_commit    1
```

innodb_log_file_size	268435456		
--- Eficiencia del Buffer Pool (hit rate) ---			
Innodb_buffer_pool_pages_data	9793		
Innodb_buffer_pool_pages_free	19549		
Innodb_buffer_pool_pages_total	32768		
Innodb_buffer_pool_read_requests	483489187		
Innodb_buffer_pool_reads	887		
HIT RATE = 99.999817 % (lecturas servidas desde RAM sin tocar disco)			
--- Conexiones ---			
max_connections	500		
thread_cache_size	64		
Aborted_connects	259562		
Connections	329815		
Max_used_connections	21		
Max_used_connections_time	2026-08-14		
Threads_connected	5		
Threads_running	2		
--- Actividad acumulada ---			
Com_delete	0		
Com_insert	0		
Com_select	1		
Com_update	0		
Queries	378906900		
Slow_queries	0		
Uptime	2599594		
QPS_promedio	145.76 consultas/segundo promedio		
--- Tablas mas grandes de Moodle ---			
mdl_task_log	11.53 MB	10557	filas
mdl_tool_customlang	4.77 MB	29891	filas
mdl_files	1.72 MB	5328	filas
mdl_logstore_standard_log	1.35 MB	3766	filas
mdl_h5p_libraries	0.77 MB	132	filas
mdl_role_capabilities	0.24 MB	1100	filas
mdl_upgrade_log	0.18 MB	1319	filas
mdl_config_plugins	0.16 MB	1907	filas
mdl_config_log	0.15 MB	1787	filas
mdl_user	0.13 MB	5	filas

H.7. Verificación de seguridad: cortafuegos, fuerza bruta, acceso remoto, transporte y directorio de datos

===== SEGURIDAD: FAIL2BAN =====
Status
- Number of jail: 1
'- Jail list: sshd
--- jail: sshd ---
- Currently failed: 1
- Total failed: 144
- Currently banned: 0
- Total banned: 20
===== SEGURIDAD: FIREWALL =====

Status: active
 Logging: on (low)
 Default: deny (incoming), allow (outgoing), disabled (routed)
 New profiles: skip

To	Action	From
--	-----	----
22/tcp	ALLOW IN	Anywhere
80/tcp	ALLOW IN	Anywhere
443/tcp	ALLOW IN	Anywhere
887/tcp	ALLOW IN	Anywhere
887/udp	ALLOW IN	Anywhere
8888/tcp	ALLOW IN	Anywhere
888/tcp	ALLOW IN	Anywhere
22/tcp (v6)	ALLOW IN	Anywhere (v6)
80/tcp (v6)	ALLOW IN	Anywhere (v6)
443/tcp (v6)	ALLOW IN	Anywhere (v6)
887/tcp (v6)	ALLOW IN	Anywhere (v6)
887/udp (v6)	ALLOW IN	Anywhere (v6)
8888/tcp (v6)	ALLOW IN	Anywhere (v6)

--- iptables (reglas INPUT) ---

Chain INPUT (policy DROP)

num	target	prot	opt	source	destination	
1	f2b-sshd	tcp	--	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	multiport dports 22
2	DROP	all	--	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	match-set aapanel.ipv4.blacklist src
3	ACCEPT	all	--	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	match-set aapanel.ipv4.whitelist src
4	ufw-before-logging-input	all	--	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	
5	ufw-before-input	all	--	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	
6	ufw-after-input	all	--	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	
7	ufw-after-logging-input	all	--	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	
8	ufw-reject-input	all	--	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	
9	ufw-track-input	all	--	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	

===== SEGURIDAD: ACCESO SSH =====

PermitRootLogin yes
 --- intentos fallidos de SSH registrados ---
 Failed password en auth.log actual: 26

===== SEGURIDAD: EXPOSICION DE moodledata =====

ruta dataroot: /www/wwwroot/moodledata
 ¿esta dentro del webroot? NO - correcto
 --- prueba de acceso HTTP directo a moodledata ---
 https://campus.uecibsf.edu.ec/moodledata/ -> HTTP 404
 .../config.php -> HTTP 200
 permisos: drwxrwxrwx www:www

===== SEGURIDAD: PRIVILEGIOS DEL USUARIO DE BD =====

```
GRANT USAGE ON *.* TO 'sql_campus_uecibsf.edu_ec'@'localhost'
GRANT ALL PRIVILEGES ON 'sql_campus_uecibsf.edu_ec'.* TO 'sql_campus_uecibsf.edu_ec'@'localhost'
```

===== TLS / SSL =====

issuer=C = US, O = Let's Encrypt, CN = YR1
 subject=CN = campus.uecibsf.edu.ec
 notBefore=Jul 16 22:30:29 2026 GMT
 notAfter=Oct 14 22:30:28 2026 GMT
 --- protocolos admitidos ---
 tls1 : rechazado
 tls1_1 : rechazado
 tls1_2 : ADMITIDO

```

    tls1_3 : ADMITIDO
--- cabeceras de seguridad HTTP ---
    x-frame-options: sameorigin
    strict-transport-security: max-age=31536000
--- redireccion HTTP -> HTTPS ---
    http:// -> HTTP 301 destino=https://campus.uecibsf.edu.ec/

```

H.8. Verificación de la tarea programada de Moodle

```

===== ¿SE EJECUTA EL CRON DE MOODLE? =====
--- 44842cc413a0f73253e66f5f9bbbdcd3 ---
    PATH=/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin:/usr/local/bin:/usr/local/sbin:~/bin
    export PATH
    echo $$ > /www/server/cron/44842cc413a0f73253e66f5f9bbbdcd3.pl
    sudo -u root bash <<'EOF'
    /usr/bin/php /www/wwwroot/campus.uecibsf.edu.ec/admin/cli/cron.php
    EOF
--- a50afd8f7d0e95dc2fd7bbcf40cc5304472d1 ---
    PATH=/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin:/usr/local/bin:/usr/local/sbin:~/bin
    export PATH
    /www/server/panel/pyenv/bin/python3 -u /www/server/panel/class/acme_v2.py --renew_v3=1
    echo "-----"
    endDate='date +"%Y-%m-%d %H:%M:%S"'
    echo "[$endDate] Successful"
--- 710f9703defb1745cbf40cc5304472d1 ---
    PATH=/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin:/usr/local/bin:/usr/local/sbin:~/bin
    export PATH
    echo $$ > /www/server/cron/710f9703defb1745cbf40cc5304472d1.pl
    /www/server/panel/pyenv/bin/python3 -u /www/server/panel/script/backup.py database ALL 3 710
    ↪ f9703defb1745cbf40cc5304472d1
    echo "-----"
    endDate='date +"%Y-%m-%d %H:%M:%S"'

--- evidencia en la BD: ultimas tareas ejecutadas por el cron de Moodle ---
2026-08-14 21:18:01.945900 mod_assign\task\cron_task resultado=OK
2026-08-14 21:18:01.905600 workshopallocation_scheduled\task\cron_task resultado=OK
2026-08-14 21:18:01.903700 tool_monitor\task\clean_events resultado=OK
2026-08-14 21:18:01.828500 tool_messageinbound\task\pickup_task resultado=OK
2026-08-14 21:18:01.792100 mod_workshop\task\cron_task resultado=OK
total ejecuciones registradas: 26452 fallos: 0

===== CONTENIDO DE LOS RESPALDOS DIARIOS =====
--- listado de /www/backup ---
database                                4.0K Jul 25
file_history                            4.0K Jul 15
nginxBak                                13M Jun 7
panel                                    4.0K Aug 14
php-fpm82.Bak                           46M May 20
php82.Bak                               46M May 20
site                                     4.0K Jul 24

--- ¿que contiene un respaldo diario? ---
basename: missing operand
Try 'basename --help' for more information.
archivo: (2.1M)

--- politica real de retencion observada ---
copias .zip conservadas: 0

```

espacio total ocupado: 594M

===== CONTRASTE CON LA AFIRMACION DE LA TESIS =====

Tesis : respaldo diario 2.17 GB -> 7 copias = 15.2 GB -> satura Google Drive (15 GB)

Medicion hoy : respaldo diario observado = 3 MB -> 7 copias = 0.02 GB

respaldo COMPLETO (codigo+datos+BD) = 536 MB -> 7 copias = 3.66 GB

ocupacion de 15 GB: 24.4% con el completo, 0.1% con el diario actual

H.9. Sostenibilidad del esquema de respaldo

===== RESPALDOS: CONTENIDO REAL POR SUBCARPETA =====

--- /www/backup/database ---

mongodb	4.0K	Jul 25 01:30
pgsql	4.0K	Jul 25 01:30
redis	4.0K	Jul 25 01:30
mysql	4.0K	Jul 25 01:30
total:	11M	archivos: 4

--- /www/backup/site ---

campus.uecibsf.edu.ec_20260724_105509.zip	170M	Jul 24 10:55
total:	170M	archivos: 1

--- /www/backup/panel ---

2026-08-14.zip	11M	Aug 14 00:09
2026-08-13.zip	11M	Aug 13 00:04
2026-08-12.zip	11M	Aug 12 00:03
2026-08-11.zip	11M	Aug 11 00:04
2026-08-10.zip	11M	Aug 10 00:02
2026-08-09.zip	11M	Aug 9 00:09
2026-08-08.zip	11M	Aug 8 00:05
2026-08-07.zip	11M	Aug 7 00:01
2026-08-06.zip	11M	Aug 6 00:05
2026-08-05.zip	11M	Aug 5 00:02
total:	310M	archivos: 30

--- /www/backup/file_history ---

www	4.0K	Jul 15 23:23
total:	1.3M	archivos: 1

===== POLITICA DE RESPALDO DE BASE DE DATOS =====

Programado: 01:30 diario | retencion configurada en el script: 3 copias
(parametro 'database ALL 3' del cron de aaPanel)

===== CALCULO REAL DE SOSTENIBILIDAD DEL RESPALDO =====

Volumen actual a respaldar:

codigo Moodle	:	425 MB
moodledata	:	111 MB
base de datos	:	33 MB
RESPALDO COMPLETO	:	569 MB (0.56 GB)

Proyeccion sobre Google Drive gratuito (15 GB = 15360 MB):

7 copias completas : 3.89 GB -> 25.9% de la cuota

30 copias completas : 16.67 GB -> 111.1% de la cuota

copias que caben en 15 GB: 26

NOTA: la saturacion de la cuota depende del volumen de moodledata,
que crece con las entregas de estudiantes. Con el contenido actual
la cuota NO se satura; el riesgo aparece al escalar el uso real.