IDEOs
Centro de Investigación
y Producción Científica

Tecnologías emergentes en educación

Diseño de aplicaciones móviles y experiencias de aprendizaje con gafas de Meta (Meta Quest)



María Gabriela García Zuleta
Cesar Loo Gil
Fermín Pozo Ortega
Moises Samuel Cruz Calla
Marisa Laura Pisconte Hernández

Tecnologías emergentes en educación

Diseño de aplicaciones móviles y experiencias de aprendizaje con gafas de Meta (Meta Quest)

Editor

IDEOs
Centro de Investigación
y Producción Científica

María Gabriela Garcia Zuleta

https://orcid.org/0000-0002-7823-1656

Universidad de Lima, Lima - Perú

Cesar Loo Gil

Cesarloo@biofab.com.pe

https://orcid.org/0000-0001-8396-5972

Centro de Investigación y Producción Científica IDEOs, Lima - Perú

Fermín Pozo Ortega

fpozo@unheval.edu.pe

https://orcid.org/0000-0003-4336-3939

Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco - Perú

Moises Samuel Cruz Calla

mscruzcalla40@gmail.com

https://orcid.org/0009-0009-7337-1770

Universidad Continental, Arequipa - Perú

Marisa Laura Pisconte Hernández

mpisconteh@unp.edu.pe

https://orcid.org/0000-0002-3353-7395

Universidad Nacional de Piura, Piura – Perú

ÍNDICE

PRÓLOGO 11
PRESENTACIÓN 13
INTRODUCCIÓN 15
CAPÍTULO I 18
1.1. De la informatización a los entornos de aprendizaje conectados 18
1.1.1. Criterios para distinguir sustitución, mejora y transformación 19
1.2. Aprendizaje móvil: ubicuidad, contexto y producción de evidencias 20
1.2.1. Frontera entre personalización y vigilancia 21
1.3. Realidad virtual, aumentada y mixta: categorías útiles para diseñar 22
1.3.1. Regla de selección del nivel de inmersión 23
1.4. Nuevas alfabetizaciones y agencia del estudiante 24
1.5. Infraestructura, costos y criterios de adopción 25
1.5.1. Matriz de decisión tecnológica 27
1.6. Perspectivas institucionales y desigualdades de la transformación educativa 27
1.6.1. Brecha de acceso, uso y aprovechamiento 27
1.6.2. Lenguas, contenidos y pertinencia cultural 28
1.6.3. Temporalidad de la innovación y obsolescencia 29
1.7. Marco de análisis sociotécnico para proyectos educativos 30
1.7.1. La unidad de intervención es una práctica 30
1.7.2. Mapa de actores y decisiones 31
1.7.3. Criterios de madurez de una iniciativa 31
1.8. Escenarios de adopción institucional en América Latina 32
1.8.1. Institución con conectividad robusta y personal de soporte 32
1.8.2. Institución con conectividad intermitente y presupuesto limitado 32
1.8.3. Red de instituciones que comparte contenidos científicos 33
CAPÍTULO II 34
2.1. Definir aprendizaje antes de seleccionar una interfaz 34
2.2. Carga cognitiva y aprendizaje multimedia 35
2.3. Constructivismo, indagación y aprendizaje experiencial 36
2.3.1. Secuencia de indagación propuesta 38
2.4. Diseño universal, inclusión y seguridad pedagógica 38

2.5. Evaluación de aprendizajes y evidencia de eficacia 39
2.5.1. Mapa de evidencias por nivel 41
2.6. Patrones de enseñanza y mecanismos de aprendizaje transferibles 41
2.6.1. Predicción antes de observación 41
2.6.2. Contraste de casos mínimos 42
2.6.3. Explicación generativa y revisión de modelos 42
2.6.4. Aprendizaje por errores recuperables 43
2.6.5. Transferencia diferida y recuperación activa 43
2.7. Diseño de rúbricas, tareas y evidencias interpretables 43
2.7.1. Del constructo al descriptor observable 43
2.7.2. Validez de las tareas en entornos móviles e inmersivos 44
2.7.3. Evidencia de proceso y evidencia de resultado 44
2.7.4. Triangulación y explicación de resultados 45
2.8. Secuencias didácticas equivalentes por modalidad 45
2.8.1. Lectura con imágenes, simulación 2D y XR 45
2.8.2. Diseño de una matriz de equivalencia 46
2.8.3. Diseño del debriefing como intervención independiente 46
2.9. Dilemas de diseño que afectan el aprendizaje 47
2.9.1. Exploración libre o guía progresiva 47
2.9.2. Realismo visual o abstracción científica 47
2.9.3. Gamificación o rigor de la tarea 48
2.9.4. Personalización automática o control del aprendiz 48
2.9.5. Medición exhaustiva o privacidad proporcional 48
2.9.6. Individualización o colaboración 49
2.9.7. Velocidad de respuesta o profundidad reflexiva 49
2.9.8. Retroalimentación inmediata o demora estratégica 49
2.9.9. Contenido breve o complejidad conceptual 50
2.9.10. Narrativa inmersiva o transparencia del modelo 50
2.9.11. Aprendizaje autónomo o acompañamiento docente 51
2.9.12. Evaluación individual o evidencias compartidas 51
2.9.13. Simulación segura o falsa competencia profesional 51
2.9.14. Innovación local o estandarización institucional 52

2.9.15. Experiencia breve o aprendizaje sostenido 52
2.9.16. Métrica conveniente o indicador válido 52
2.9.17. Inmersión individual o accesibilidad multisensorial 53
2.9.18. Costo inicial o costo de continuidad 53
2.9.19. Publicación de evidencias o derecho a la privacidad 53
2.9.20. Tecnologías de un proveedor o principios transferibles 54
CAPÍTULO III 55
3.1. Del problema educativo al producto mínimo útil 55
3.1.1. Historia de usuario y criterio de aceptación 56
3.2. Diseño de interacción y accesibilidad en pantallas pequeñas 56
3.2.1. Prototipado centrado en tareas 57
3.3. Arquitectura de software, datos y sincronización 58
3.3.1. Ejemplo de esquema lógico de datos 59
3.4. Desarrollo incremental, pruebas y calidad pedagógica 60
3.5. De prototipo a servicio educativo institucional 61
3.5.1. Hoja de ruta de implementación 62
3.6. Catálogo de patrones funcionales para aplicaciones móviles educativas 62
3.6.1. Cuaderno botánico de campo 63
3.6.2. Laboratorio de argumentación matemática 63
3.6.3. Diario de lectura crítica de fuentes 64
3.6.4. Entrenador de pronunciación con revisión humana 64
3.6.5. Bitácora de prácticas de laboratorio de química 65
3.6.6. Cartografía participativa de barreras urbanas 65
3.6.7. Archivo oral de memoria histórica local 66
3.6.8. Simulador de decisiones de emprendimiento 66
3.6.9. Asistente de identificación de riesgos en talleres 67
3.6.10. Laboratorio estadístico de muestras y sesgos 67
3.6.11. Tutor de estructuras de programación 68
3.6.12. Plataforma de observación pedagógica en prácticas docentes 69
3.6.13. Diario de seguimiento de cultivos escolares 69
3.6.14. Observatorio de calidad de aire en la comunidad 70
3.6.15. Entrenamiento en razonamiento clínico no diagnóstico 70

3.6.16. Itinerario patrimonial con fuentes contrastadas 71
3.6.17. Evaluación formativa de escritura académica 71
3.6.18. Microobservatorio de astronomía escolar 72
3.6.19. Gestión de un proyecto colaborativo interdisciplinar 72
3.6.20. Aplicación de pensamiento espacial en geometría 73
3.6.21. Simulador de decisiones cívicas y presupuesto público 73
3.6.22. Diario de creación artística multimodal 74
3.6.23. Apoyo a transición universitaria y autorregulación 74
3.6.24. Formación sobre protección de datos y ciudadanía digital 75
3.7. Laboratorio de especificación y construcción de una app educativa 75
3.7.1. Contrato pedagógico y definición de estados 75
3.7.2. Modelo de dominio y diseño de interfaces entre servicios 76
3.7.3. Persistencia local y sincronización tolerante a fallos 77
3.7.4. Diseñar formularios que enseñen prácticas científicas 78
3.7.5. Diseñar feedback con explicación y oportunidad de revisión 78
3.7.6. Interoperabilidad con entornos virtuales de aprendizaje 79
3.7.7. Observabilidad, métricas y límites de la analítica 80
3.7.8. Plan de pruebas reproducibles para un piloto 80
3.7.9. Despliegue, mantenimiento y reversibilidad 81
3.7.10. Revisión ética final de una aplicación móvil 82
3.8. Catálogo de pruebas adversas y recuperación para software educativo 82
3.8.1. Cierre inesperado durante una observación 82
3.8.2. Red inestable durante el envío final 83
3.8.3. Cambio de hora del teléfono 83
3.8.4. Dos equipos editan el mismo registro 84
3.8.5. Archivo demasiado grande para el dispositivo 84
3.8.6. Permiso de cámara rechazado 84
3.8.7. Cambio de matrícula y permisos 85
3.8.8. Actividad actualizada durante la ejecución 85
3.8.9. Lectura asistida con cambio de tamaño de fuente 85
3.8.10. Restauración de copia de seguridad 86
3.8.11. Exportación a un formato abierto 86

3.8.12. Retirada de una biblioteca o servicio externo 86
3.8.13. Detección de contenido no autorizado 87
3.8.14. Error de una regla de puntuación 87
3.8.15. Prueba de accesibilidad con conectividad cero 87
3.8.16. Reconciliación entre actividad y libro de calificaciones 88
3.8.17. Multilingüismo y contenido versionado 88
3.8.18. Salida ética ante retirada del servicio 88
CAPÍTULO IV 90
4.1. Del objetivo curricular a la escena espacial 90
4.1.1. Documento de diseño de experiencia 91
4.2. Ecosistema técnico Meta Quest, Unity, OpenXR y WebXR 91
4.2.1. Arquitectura modular sugerida 93
4.3. Interacción, locomoción y confort 93
4.3.1. Prueba de confort por tareas 94
4.4. Diseño de experiencias pedagógicas inmersivas 95
4.4.1. Protocolo didáctico de una sesión de realidad mixta 96
4.5. Calidad, validación y operación de un laboratorio XR 96
4.5.1. Lista de verificación de preparación de una experiencia Meta Quest 98
4.6. Laboratorios inmersivos por disciplinas: problemas, representaciones y límites 98
4.6.1. Geología: lectura de estratos y tiempo profundo 98
4.6.2. Anatomía: orientación y relaciones entre estructuras 99
4.6.3. Física: campos y trayectorias vectoriales 99
4.6.4. Química: geometría molecular y estereoquímica 100
4.6.5. Ingeniería civil: interferencias en una instalación 100
4.6.6. Agronomía: arquitectura radicular y suelo 100
4.6.7. Patrimonio arqueológico: reconstrucción y evidencia 101
4.6.8. Psicología cognitiva: atención selectiva y multitarea 101
4.6.9. Educación inicial: tamaño, forma y clasificación 102
4.6.10. Formación docente: gestión de diálogo en aula 102
4.6.11. Enfermería: organización de un entorno de atención 102
4.6.12. Seguridad minera: reconocimiento de peligros 103
4.6.13. Geografía urbana: crecimiento y accesibilidad 103

4.6.14. Ecología: redes tróficas y perturbaciones 103
4.6.15. Derecho: reconstrucción espacial de hechos 104
4.6.16. Economía: cadenas logísticas y externalidades 104
4.6.17. Lenguas extranjeras: conversación situada 105
4.6.18. Matemática: secciones de sólidos en profundidad 105
4.6.19. Astronomía: orientación y escalas del sistema solar 105
4.6.20. Turismo sostenible: decisiones en un área protegida 106
4.6.21. Diseño industrial: ergonomía y prueba de prototipos 106
4.6.22. Educación ambiental: microplásticos en una cuenca 106
4.6.23. Ingeniería eléctrica: rutas de cableado y seguridad 107
4.6.24. Comunicación científica: visualización de incertidumbre 107
4.6.25. Formación en mediación y negociación 107
4.6.26. Investigación de operaciones: gestión de evacuación 108
4.7. Taller de producción: de un guion a una escena Meta Quest evaluable 108
4.7.1. Diseño del repositorio, versiones y dependencias 108
4.7.2. Construcción de una escena mínima con finalidad pedagógica 109
4.7.3. Diseño de un sistema de interacción adaptable 110
4.7.4. Passthrough y escena del espacio físico 110
4.7.5. Reglas de simulación y fidelidad conceptual 111
4.7.6. Texto, audio y legibilidad en espacio tridimensional 112
4.7.7. Rendimiento, latencia y tolerancia a fallos 112
4.7.8. Estrategias de trabajo con un número reducido de visores 113
4.7.9. Test de seguridad previo a cada clase 114
4.7.10. Pruebas de validez y transferencia más allá del visor 114
4.8. Banco de pruebas de aceptación para experiencias educativas con Meta Quest 115
4.8.1. Reingreso después de una interrupción 115
4.8.2. Recuperación de orientación sin dependencia de visión periférica 116
4.8.3. Colisiones entre una acción didáctica y un control de seguridad 116
4.8.4. Coherencia entre representación visual y evidencia científica 117
4.8.5. Equivalencia de tareas entre experiencia inmersiva y alternativa accesible 117
4.8.6. Legibilidad de instrucciones durante manipulación y movimiento 118
4.8.7. Transferencia de evidencias entre teléfono, visor y repositorio 118

4.8.8. Control de datos sensibles en sesiones compartidas 119
4.8.9. Fallo de seguimiento espacial en una tarea de precisión 119
4.8.10. Manipulación de objetos con modos de entrada diferentes 120
4.8.11. Despliegue con hardware compartido y versiones heterogéneas 120
4.8.12. Ensayo pedagógico completo antes de la primera clase 121
4.8.13. Revisión integral y criterio de liberación 121
CAPÍTULO V 123
5.1. Descripción, problema formativo y límites del caso 123
5.1.1. Competencias y productos de aprendizaje 124
5.2. Requerimientos pedagógicos, funcionales y tecnológicos 125
5.2.1. Historias de usuario priorizadas 126
5.2.2. Arquitectura de información y flujo 126
5.3. Secuencia didáctica integrada de seis sesiones 127
5.3.1. Sesión 1: modelos mentales iniciales y lectura de cuencas 127
5.3.2. Sesión 2: observación móvil y calidad de evidencia 128
5.3.3. Sesión 3: inmersión y relaciones entre relieve y escorrentía 128
5.3.4. Sesión 4: cobertura vegetal, infiltración y escenario de riesgo 129
5.3.5. Sesión 5: fuentes de contaminación y argumentación científica 129
5.3.6. Sesión 6: transferencia, comunicación y evaluación 130
5.4. Instrumentos propuestos para evaluación y validación 130
5.4.1. Rúbrica analítica de razonamiento científico 130
5.4.2. Instrumento de experiencia de usuario 131
5.4.3. Guion de observación no intrusiva 132
5.4.4. Protocolo de evaluación de aprendizaje 132
5.5. Gestión de riesgos, sostenibilidad y entregables del prototipo 133
5.5.1. Plan de evaluación de contenido científico y experiencia digital 134
5.5.2. Banco de problemas de transferencia para Aula Cuenca 136
5.5.3. Plantilla de ficha técnica para cada escenario 145
5.5.4. Protocolo de entrevista docente antes del desarrollo 146
5.5.5. Pruebas de aceptación del circuito móvil—XR—móvil 147
5.5.6. Plan de análisis para una evaluación futura 147
5.5.7. Instrumentos específicos para validar la experiencia Aula Cuenca 148

5.5.8. Banco de tareas abiertas para evaluación formativa 150
5.5.9. Calibración de evaluadores y corrección de respuestas abiertas 155
5.5.10. Manual breve de administración de las actividades de transferencia 156
CAPÍTULO VI 157
6.1. Entre evidencia científica y promesa de innovación 157
6.2. Gobernanza pedagógica y soberanía sobre datos 158
6.3. Formación docente y desarrollo profesional interdisciplinario 159
6.4. Sostenibilidad económica, técnica y ambiental 160
6.5. Agenda de investigación y escenarios futuros 161
6.5.1. Preguntas investigables para programas universitarios 162
6.6. Protocolo de investigación interdisciplinar sobre experiencias inmersivas 163
6.6.1. Precisar la pregunta y la teoría de cambio 163
6.6.2. Muestreo y comparabilidad 163
6.6.3. Medidas de competencia y desempeño 164
6.6.4. Integridad analítica y reporte de hallazgos 165
6.7. Institucionalización responsable y evaluación de políticas 166
6.7.1. Del piloto a la decisión pública 166
6.7.2. Compras, contratos y rendición de cuentas 166
6.7.3. Autonomía académica frente al ciclo comercial 167
6.7.4. Criterios para continuar, modificar o retirar 167
6.8. Escenarios de gobernanza para decisiones reales de adopción 168
REFLEXIONES FINALES 174
BIBLIOGRAFÍA 176

PRÓLOGO

La escuela nunca ha recibido una tecnología en estado puro. Cada artefacto que entra al aula arrastra una manera de organizar el tiempo, distribuir la atención y atribuir valor a determinadas capacidades. La pizarra permitió sostener una explicación común; el libro multiplicó las oportunidades de lectura individual; la computadora introdujo procedimientos de simulación y representación; el teléfono inteligente hizo posible producir y consultar información en movimiento. Las gafas inmersivas introducen una variación adicional: el estudiante puede situarse dentro de una representación y actuar sobre ella. Ninguna de estas transformaciones garantiza aprendizaje. El valor educativo depende de las decisiones pedagógicas que orientan su uso.

La expresión «tecnologías emergentes» suele sugerir una carrera por adoptar dispositivos. Esa interpretación confunde novedad con pertinencia. Una institución puede contar con equipos de alto rendimiento y continuar enseñando con una lógica exclusivamente expositiva; también puede utilizar una aplicación móvil sencilla para organizar una investigación rigurosa, documentar observaciones y retroalimentar decisiones. La cuestión decisiva no es qué aparato llega primero, sino qué problema formativo se intenta resolver, qué evidencia permitirá valorar los resultados y cuáles son los costos sociales y cognitivos de la solución.

La educación inmersiva merece especial atención porque modifica la relación entre cuerpo, espacio e información. La percepción de escala, la manipulación de objetos tridimensionales y la posibilidad de ensayar acciones sin exponerse a riesgos materiales ofrecen oportunidades valiosas para aprender geometría, ciencia, salud, patrimonio o procedimientos técnicos. Esa promesa convive con restricciones importantes: fatiga, desorientación, barreras de accesibilidad, dificultades de mantenimiento, dependencia de plataformas comerciales y ausencia de pruebas concluyentes para algunas aplicaciones. El diseño responsable tiene que tomar en serio ambas caras.

Este libro propone examinar el desarrollo de aplicaciones móviles y de experiencias para gafas Meta Quest como un sistema de decisiones educativas, no como

un catálogo de funciones. Se dirige a docentes, investigadores, diseñadores instruccionales, responsables institucionales y equipos de software que necesitan conversar con un lenguaje compartido. Los argumentos pedagógicos se contrastan con decisiones de interfaz, arquitectura, seguridad, evaluación y gobernanza. Se aspira a que el lector pueda justificar por qué selecciona una tecnología, describir cómo debe funcionar y establecer cuándo conviene prescindir de ella.

La madurez de un proyecto educativo digital no se mide por su espectacularidad visual. Se reconoce en la precisión de sus objetivos, la atención a estudiantes diferentes, la facilidad para observar el aprendizaje y la posibilidad de seguir funcionando cuando desaparecen la conexión a internet, el presupuesto extraordinario o la fascinación de la primera demostración. Desde esa convicción se desarrolla la obra.

PRESENTACIÓN

Tecnologías emergentes en educación: Diseño de aplicaciones móviles y experiencias de aprendizaje con gafas de Meta (Meta Quest) es una obra original de análisis documental, síntesis crítica y diseño tecnológico-pedagógico. Se redacta desde cero; no procede de una tesis entregada al proceso editorial ni afirma disponer de observaciones, encuestas o experimentos que no se hayan realizado. Esta distinción determina su alcance científico. Las afirmaciones sobre evidencia empírica se atribuyen a estudios y organismos publicados; las propuestas de implementación son diseños razonados cuya eficacia exige validación posterior.

El texto combina cinco tipos de conocimiento: fundamentos del aprendizaje, evidencia sobre tecnologías inmersivas, procesos de ingeniería de software móvil, especificaciones técnicas de Meta Quest y procedimientos de evaluación educativa. La literatura académica se utiliza para someter las promesas tecnológicas a contraste; la documentación oficial de proveedores ayuda a describir funciones, dependencias y restricciones que cambian con las versiones. Se distinguen deliberadamente los principios relativamente estables —por ejemplo, la carga cognitiva o la validez de una evaluación— de instrucciones técnicas que requieren revisión antes de desarrollar una aplicación.

La obra se organiza en seis capítulos. El primero delimita la transformación tecnológica y sus implicaciones institucionales. El segundo articula teorías y criterios para diseñar aprendizaje significativo. El tercero desarrolla un método integral para crear aplicaciones móviles educativas, desde la investigación de usuarios hasta la operación y el mantenimiento. El cuarto estudia las posibilidades y limitaciones de la realidad virtual y mixta mediante Meta Quest. El quinto documenta el diseño completo de un caso de aplicación denominado «Aula Cuenca», con una app móvil y un laboratorio inmersivo complementarios; los instrumentos y las métricas expuestos son protocolos propuestos, nunca resultados atribuidos a personas reales. El sexto discute gobernanza, sostenibilidad y líneas de investigación futuras.

Su principal destinatario es el equipo interdisciplinario que debe tomar decisiones antes de programar. También puede servir como lectura base en formación docente, informática educativa, posgrados de innovación y seminarios de investigación aplicada. La terminología se explica sin ocultar la complejidad técnica: una arquitectura interoperable, un protocolo de privacidad o una rúbrica bien diseñada requieren tanta atención como una escena tridimensional atractiva.

Las referencias fueron seleccionadas por su relación con problemas concretos de diseño y revisadas con fecha de corte de noviembre de 2026. Ni Meta Quest ni una marca específica constituyen el objeto último de la formación; se estudian como implementaciones actuales de una familia más amplia de tecnologías de interacción espacial. La permanencia académica del libro reside, por tanto, en sus métodos de análisis y diseño, incluso cuando el hardware y los SDK cambien.

INTRODUCCIÓN

La digitalización educativa modificó la circulación del contenido antes de transformar profundamente las condiciones de aprendizaje. Repositorios, aulas virtuales y grabaciones facilitaron el acceso a materiales; sin embargo, la sola disponibilidad de recursos no resolvió los problemas de interpretación, transferencia, colaboración o desigualdad. La expansión del teléfono inteligente desplazó parte de la actividad formativa fuera del aula y permitió capturar evidencias situadas: fotografías de campo, registros de observación, audio, anotaciones geográficas o respuestas breves en el momento de la práctica. Posteriormente, las interfaces espaciales abrieron la posibilidad de aprender manipulando representaciones tridimensionales y ensayando procedimientos en mundos virtuales o híbridos.

Esta evolución no es lineal ni irreversible. Existen situaciones en las que un texto permite comprender mejor que una simulación; en otras, una representación inmersiva facilita percibir relaciones espaciales difíciles de comunicar en dos dimensiones. El desafío consiste en construir criterios de elección. La pregunta «¿cómo introducir Meta Quest en una clase?» resulta menos informativa que «¿qué aprendizaje necesita visualización en escala, actuación encarnada o práctica segura, y qué prueba indicaría que esa experiencia fue superior a una alternativa menos costosa?». El segundo interrogante obliga a especificar condiciones y a considerar soluciones rivales.

El Informe de Seguimiento de la Educación en el Mundo de UNESCO (2023) advirtió sobre las limitaciones de la evidencia imparcial que respalda productos educativos y recordó que la tecnología debe responder a las necesidades de estudiantes y docentes. En el caso de la inmersión, el contraste también es necesario. La revisión de Poupard, Larrue, Sauzéon y Tricot (2025) encontró que la realidad virtual puede imponer carga cognitiva adicional a estudiantes novatos, mientras que ciertos usos de realidad aumentada reducen algunas exigencias; sus resultados no autorizan proclamar una superioridad universal. Otras síntesis muestran beneficios condicionados por el diseño, la duración y la mediación docente (Conrad et al., 2024; Huang et al., 2025; Oje et al., 2025). La conclusión metodológica es clara: el medio debe examinarse junto con la tarea, la población y la evaluación.

El aprendizaje móvil plantea un problema complementario. Una app no se justifica por condensar un curso en una pantalla pequeña. Su ventaja aparece cuando aprovecha características propias del dispositivo: disponibilidad contextual, sensores cuando se necesiten, registro de evidencia auténtica, funcionamiento sin conexión, retroalimentación oportuna y continuidad entre espacios formales e informales. El diseño de interfaz, la arquitectura de datos y las decisiones sobre sincronización afectan la experiencia tanto como los contenidos. Una aplicación que pierde registros al desconectarse puede impedir una investigación de campo; una que recolecta datos innecesarios puede vulnerar la confianza que requiere el trabajo educativo.

Meta Quest introduce otros requisitos. La experiencia puede presentarse como realidad virtual, que reemplaza la visión del entorno por una escena digital, o como realidad mixta, que integra representaciones en el espacio físico mediante funciones como *passthrough*, reconocimiento del escenario y anclajes espaciales. La documentación de Meta (2026) describe rutas de desarrollo mediante Unity, Unreal Engine, código nativo y WebXR. Elegir una plataforma no es una decisión exclusivamente informática: determina formas de interacción, posibilidades de mantenimiento, portabilidad, esfuerzo de formación del equipo y dependencia tecnológica. El desarrollo educativo exige traducir una intención didáctica en reglas verificables de interfaz y conducta del sistema.

La accesibilidad y la seguridad no son correcciones de última hora. CAST (2024) propone el Diseño Universal para el Aprendizaje como una invitación a prever múltiples medios de compromiso, representación y acción. Las WCAG 2.2 de W3C ofrecen criterios útiles para interfaces web y móviles, aunque no agotan las necesidades espaciales de XR. En un visor también importan alternativas al movimiento corporal, referencias de orientación, controles legibles, tiempo de exposición, salidas claras, interacción sentado y supervisión adecuada. Una propuesta pedagógica que solo funciona para un perfil corporal o para una conectividad ideal fracasa como estrategia institucional inclusiva.

Una obra sobre estos desarrollos tiene que resolver una tensión entre teoría y construcción. Por un lado, las decisiones educativas requieren argumentación científica;

por otro, los proyectos fracasan cuando la argumentación nunca se convierte en requisitos, pantallas, flujos, pruebas y responsabilidades. El método adoptado aquí consiste en recorrer la cadena completa: necesidad formativa, resultados de aprendizaje, experiencia prevista, especificación funcional, datos mínimos, secuencia de enseñanza, instrumentos de observación y criterios de mejora. De este modo puede auditarse la coherencia entre lo que se promete y lo que realmente se implementa.

El caso «Aula Cuenca» representa esa cadena en un contexto posible de educación superior: la interpretación de una cuenca hidrográfica y la toma de decisiones ante eventos de contaminación. Un teléfono permite reunir observaciones en una salida de campo o en una simulación de escritorio; Meta Quest permite explorar relaciones tridimensionales, observar escenarios de consecuencia y practicar decisiones; el aula presencial sostiene la discusión científica y la evaluación del razonamiento. El caso es una especificación didáctica completa, no una intervención ya realizada. Se ofrecen instrumentos para ponerlo a prueba, pero no se fabrican muestras, efectos estadísticos ni testimonios.

El criterio que recorre la obra puede expresarse de manera sencilla: la innovación educativa necesita una hipótesis de valor sometida a prueba. Si una pantalla, un sensor o un visor no contribuyen a una actividad cognitiva identificable, incorporarlos puede ser una distracción onerosa. Cuando el medio permite observar, experimentar, explicar o decidir de una forma que antes era difícil o insegura, merece una evaluación rigurosa. Esa evaluación debe combinar aprendizaje, usabilidad, seguridad, equidad, sostenibilidad y libertad pedagógica.

CAPÍTULO I

ECOSISTEMAS TECNOLÓGICOS Y TRANSFORMACIONES DE LA EXPERIENCIA EDUCATIVA

1.1. DE LA INFORMATIZACIÓN A LOS ENTORNOS DE APRENDIZAJE CONECTADOS

Un aula puede estar llena de computadores y conservar intactas sus prácticas de enseñanza. La informatización describe, ante todo, la incorporación de dispositivos y sistemas digitales a procesos que ya existían; la transformación pedagógica modifica las actividades, los roles, las evidencias y las oportunidades de aprender. Distinguir ambas operaciones es esencial para evaluar programas de innovación. Digitalizar una ficha de evaluación reduce tareas manuales, pero no necesariamente mejora la calidad de las preguntas ni la pertinencia de la retroalimentación. Una práctica de observación que se apoya en un registro móvil geolocalizado, por el contrario, puede cambiar qué evidencia produce el estudiante y cómo construye explicaciones a partir de ella.

El desplazamiento conceptual hacia «ecosistemas» reconoce que ninguna herramienta interviene de forma aislada. La clase funciona mediante relaciones entre estudiantes, docentes, infraestructura, currículos, normas, familias, plataformas, mantenimiento y financiación. Las decisiones que parecen tecnológicas suelen tener consecuencias institucionales: un inicio de sesión crea dependencias de identidad; una actualización del sistema puede impedir usar un visor; un contrato con un proveedor redefine quién administra los datos; una capacitación incompleta provoca que una funcionalidad termine abandonada. Analizar el ecosistema equivale a estudiar las condiciones que vuelven una experiencia reproducible y no una demostración esporádica.

La educación conectada tampoco debe confundirse con conexión permanente. En regiones con cortes de energía, baja cobertura o altos costos de datos, diseñar suponiendo acceso continuo crea una barrera previsible. El principio *offline first* considera la operación sin red como estado normal y sincroniza posteriormente los eventos pertinentes. Su aplicación modifica la arquitectura y la enseñanza: las instrucciones deben estar disponibles localmente; los registros deben conservar fecha, autor y estado; la interfaz tiene que informar cuándo una evidencia aún no está respaldada; y la evaluación no puede castigar a quien desarrolló una actividad válida fuera de línea. Así, un requisito técnico se convierte en condición de equidad.

La plataforma digital más extendida de un estudiante no siempre es la diseñada para la institución. El teléfono personal suele concentrar comunicación, cámara, lectura breve y producción de contenido. Este hecho favorece estrategias de aprendizaje contextual, pero también compite por atención con mensajes y estímulos externos. Una intervención móvil ha de limitar la duración de tareas, disminuir notificaciones no esenciales y proporcionar pausas entre acciones. La continuidad educativa no significa reclamar disponibilidad permanente al estudiante; significa permitir retomar una actividad con sentido, sin perder el hilo ni el control sobre su tiempo.

UNESCO (2023) describe las tecnologías como recursos, canales de prestación, competencias, herramientas de planificación y parte del contexto social. Esta mirada impide reducir el análisis a un índice de dispositivos por alumno. Para estudiar la contribución educativa conviene separar al menos cuatro planos: acceso material, calidad de las actividades, cambios en las capacidades aprendidas y sostenibilidad institucional. Los cuatro pueden evolucionar de manera distinta. Una inversión puede ampliar el acceso y, simultáneamente, deteriorar la atención si multiplica tareas poco relevantes. La evaluación necesita mediciones de cada plano y no una cifra agregada de «uso».

1.1.1. Criterios para distinguir sustitución, mejora y transformación

La sustitución se presenta cuando una tecnología realiza prácticamente la misma función que un medio previo: trasladar un cuestionario de papel a una pantalla sin cambiar la lógica de respuesta. La mejora sucede cuando el medio reduce fricción,

permite retroalimentar de inmediato o conecta información antes dispersa. La transformación aparece cuando cambia la naturaleza de lo que el estudiante puede observar, producir, contrastar o argumentar. Una simulación puede permitir variar simultáneamente parámetros de un proceso que sería costoso reproducir en un laboratorio real; una representación espacial puede revelar una relación volumétrica difícil de comprender con imágenes planas. Conviene evitar que esta clasificación se convierta en una jerarquía automática: sustituir un trámite redundante también puede ser una decisión excelente si libera tiempo pedagógico.

Para justificar una tecnología es útil enunciar una hipótesis condicional: «Si el estudiante manipula un modelo tridimensional con señales de escala y recibe una consigna de contraste, entonces podrá explicar mejor ciertas relaciones espaciales que con una lámina estática». La afirmación especifica población, mecanismo y resultado susceptible de observación. No asegura éxito; establece cómo comprobarlo. En cambio, «la realidad virtual aumenta la motivación» es demasiado amplia: no identifica duración, actividad, instrumento ni comparación. En investigación aplicada, la precisión de la hipótesis protege del entusiasmo infundado.

1.2. APRENDIZAJE MÓVIL: UBICUIDAD, CONTEXTO Y PRODUCCIÓN DE EVIDENCIAS

El aprendizaje móvil no es simplemente educación a distancia vista en una pantalla pequeña. Su singularidad reside en la continuidad entre espacios y en la posibilidad de responder al entorno inmediato. Una aplicación puede invitar a comparar dos edificios, fotografiar patrones geométricos, registrar una medición ambiental, comentar una lectura en una visita a un museo o consultar un procedimiento junto a un equipo de laboratorio. El dispositivo acompaña una acción situada; la información pasa de ser un producto consumido a convertirse en evidencia producida y discutida.

Conviene diferenciar contenido, actividad y dato. El contenido comprende textos, videos, modelos y preguntas que el sistema presenta. La actividad es la operación intelectual o práctica solicitada al estudiante: distinguir, estimar, medir, clasificar, interpretar o decidir. El dato es la huella necesaria para valorar esa operación, como una respuesta razonada, un registro temporal, una fotografía autorizada o una

comparación de resultados. Esta distinción impide caer en una analítica superficial basada solo en pulsaciones y minutos de uso. Una persona podría abrir muchas pantallas sin elaborar una explicación; otra podría dedicar cinco minutos a una observación decisiva y aprender más.

Las capacidades de captura del móvil deben tratarse con proporcionalidad. Utilizar la cámara para documentar un fenómeno no obliga a conservar rostros ni coordenadas exactas. Una actividad sobre vegetación urbana puede utilizar fotografías anonimizadas y una categoría de zona sin identificar domicilios. La localización precisa, cuando no es necesaria para la tarea, aumenta riesgos sin añadir valor formativo. La reducción de datos y la posibilidad de corregir registros constituyen decisiones de diseño, no avisos que se resuelvan con un texto legal al final del formulario.

Los entornos de comunicación requieren igualmente diseño pedagógico. Un foro móvil puede convertirse en sucesión de opiniones breves, o puede apoyar una argumentación científica cuando las consignas exigen evidencia, contraste y revisión. En una secuencia bien construida, cada grupo registra una hipótesis, aporta un dato verificable, responde a una objeción y modifica su conclusión. La interfaz debe facilitar esas relaciones: distinguir observación de interpretación, citar la fuente de una imagen, mostrar versiones y permitir comentarios orientados a criterios. Las funciones sociales son productivas cuando hacen visible un razonamiento colectivo.

El funcionamiento sin conexión no excluye colaboración. Es posible organizar procesos asincrónicos en los cuales cada dispositivo conserva un borrador local, registra una identificador único y sincroniza cuando encuentra conectividad. El problema crítico deja de ser «guardar en la nube» y pasa a ser «reconciliar aportes sin pérdida ni sobrescritura». En educación, los conflictos de sincronización pueden resolverse mostrando ambas versiones y solicitando una decisión consciente al autor, en lugar de descartar silenciosamente la menos reciente. El historial de cambios es también una fuente valiosa para examinar cómo se refinó una explicación.

1.2.1. Frontera entre personalización y vigilancia

La personalización educativa puede sugerir materiales según errores frecuentes, ritmo de avance o necesidades de accesibilidad. No necesita, por definición, construir

perfiles invasivos de cada estudiante. Una arquitectura respetuosa puede ajustar la ayuda a partir de respuestas de una sesión y olvidar después datos que no son indispensables. También debe dejar claro cuándo una recomendación se obtiene mediante reglas transparentes y cuándo interviene un modelo estadístico. El estudiante necesita comprender qué puede cambiar, por qué una actividad le fue sugerida y cómo solicitar una alternativa.

El riesgo aparece cuando la plataforma convierte cada interacción en indicador de compromiso, carácter o capacidad. Una pausa puede obedecer a una dificultad de conectividad, una necesidad corporal o una reflexión prolongada; interpretarla automáticamente como falta de motivación sería epistemológicamente débil. Las métricas deben vincularse con comportamientos que tengan significado educativo demostrado, acompañarse de contexto y utilizarse como señales revisables, no como sentencias automáticas.

1.3. REALIDAD VIRTUAL, AUMENTADA Y MIXTA: CATEGORÍAS ÚTILES PARA DISEÑAR

La realidad virtual inmersiva coloca al usuario ante un entorno digital que ocupa gran parte de su campo perceptivo y responde a movimientos de cabeza y, cuando corresponde, manos o controladores. La realidad aumentada superpone información digital a una escena física. La realidad mixta integra objetos virtuales en un espacio real con funciones de posición, percepción de superficies e interacción. Estas definiciones son operativas, no fronteras rígidas: una misma aplicación puede alternar modos, pasar de un mapa móvil a una escena inmersiva o utilizar un visor para presentar un panel bidimensional.

Dos conceptos merecen distinguirse. *Inmersión* designa propiedades del sistema: campo de visión, seguimiento, estímulos y posibilidades de interacción. *Presencia* describe la experiencia subjetiva de encontrarse en un lugar representado. Un entorno tecnológicamente inmersivo puede producir poca presencia si contiene errores de escala, latencia o acciones poco creíbles. A la inversa, una experiencia relativamente simple puede sostener un alto compromiso cognitivo cuando responde con claridad a

una pregunta interesante. Ni inmersión ni presencia son equivalentes a aprendizaje; deben vincularse con pruebas de comprensión o transferencia.

La representación espacial introduce una oportunidad precisa: externalizar relaciones que la imaginación mental debe reconstruir cuando observa láminas sucesivas. En anatomía, el estudiante puede identificar el trayecto de una estructura desde varias perspectivas; en geografía, puede comprender desniveles y escorrentías; en arquitectura, puede inspeccionar el efecto de una decisión constructiva; en formación técnica, puede ensayar un protocolo antes de enfrentar un riesgo real. Estos usos difieren del mero recorrido contemplativo. La acción valiosa es aquella que exige observar un patrón, predecir consecuencias o comparar alternativas.

La interacción encarnada plantea preguntas adicionales. Tomar un objeto con la mano virtual, acercarlo, girarlo o ubicarlo produce información kinestésica, pero también aumenta exigencias de coordinación. Un estudiante novato podría concentrarse tanto en manejar el visor que descuide el problema conceptual. El uso educativo de interacción manual exige instrucciones previas, tareas iniciales simples, señales claras de aceptación y posibilidad de resolver una misma actividad con controles alternativos. No siempre hace falta simular fielmente el gesto profesional: para comprender una relación causal, a veces un control sencillo es mejor que un procedimiento corporal complejo.

Meta Quest es una familia de visores que ofrece distintas capacidades según generación y versión de software. Funciones como visualización del entorno físico (*passthrough*), seguimiento de manos, comprensión de escena y anclajes permiten diseñar experiencias mixtas; no debe asumirse que todos los modelos admiten las mismas prestaciones con igual rendimiento. La documentación técnica, incluidos requisitos de SDK y permisos, debe comprobarse al planificar cada despliegue (Meta, 2026a, 2026b). Una especificación educativa que depende de una función ausente en parte del parque de equipos necesita una alternativa explícita.

1.3.1. Regla de selección del nivel de inmersión

Puede adoptarse una secuencia de menor a mayor complejidad. Primero, comprobar si un esquema o video responde al objetivo. Segundo, evaluar si una

simulación bidimensional con controles permite formular y poner a prueba hipótesis. Tercero, considerar un modelo 3D manejable en pantalla. Cuarto, valorar la realidad aumentada o mixta cuando la relación con el espacio real es crucial. Finalmente, seleccionar realidad virtual inmersiva cuando la escala, la exploración corporal, el riesgo simulado o la experiencia de un entorno inaccesible aporten una ventaja pedagógica identificable. El orden no refleja inferioridad de los medios simples, sino proporcionalidad de costos y requisitos.

1.4. NUEVAS ALFABETIZACIONES Y AGENCIA DEL ESTUDIANTE

Leer y escribir en entornos digitales incluye interpretar interfaces, evaluar fuentes, producir representaciones, gestionar permisos y comprender que los datos circulan por sistemas institucionales y comerciales. Una alfabetización tecnológica madura no se limita a operar dispositivos. Quien aprende con simulaciones debe reconocer sus supuestos: qué variables se mantienen constantes, qué procesos se simplifican, cuáles son las fuentes del modelo y qué resultados podrían ser artefactos de programación. El pensamiento crítico se amplía desde el contenido hacia la propia mediación tecnológica.

La modelización constituye un puente valioso entre ciencia, programación y experiencia inmersiva. Cuando un estudiante cambia la pendiente de una superficie virtual y observa el recorrido del agua, recibe una representación de relaciones físicas. Pero su aprendizaje mejora si puede explicar de dónde provienen los parámetros, comparar la predicción con datos reales y señalar lo que la simulación omite. Diseñar experiencias requiere introducir deliberadamente espacios de duda: no todo lo que se ve en una escena tridimensional existe con la misma precisión en el mundo observado.

También se necesitan competencias de autoría. Una aplicación para registrar datos puede enseñar a estructurar categorías, comprobar unidades, documentar errores y conservar trazabilidad. Un proyecto XR puede introducir geometría espacial, narrativa, usabilidad, evaluación y ética. Los estudiantes dejan de ser consumidores de recursos cuando participan en la definición del problema y en la revisión de los artefactos. Esto

exige un papel docente que combine orientación conceptual, acompañamiento de equipos y arbitraje de evidencias.

La agencia del estudiante requiere opciones reales, no únicamente personalización automatizada. Elegir entre representación textual, audiovisual o espacial; cambiar el tipo de interacción; solicitar otra vía de evaluación; revisar un registro antes de enviarlo y decidir cuándo utilizar una ayuda constituyen derechos prácticos de participación. El Diseño Universal para el Aprendizaje de CAST (2024) organiza estas decisiones en múltiples medios de compromiso, representación y acción y expresión. Su contribución más importante es diseñar la variabilidad humana desde el inicio, en lugar de añadir excepciones cuando el producto está terminado.

Las nuevas alfabetizaciones están atravesadas por desigualdades. Disponibilidad de visor no equivale a capacidad de usarlo con seguridad ni a disponer de docentes preparados. También influyen idioma, espacio físico, tiempo de estudio, movilidad y experiencias previas con dispositivos. Un programa que pone un visor durante diez minutos en manos de algunos estudiantes y reserva al resto una explicación pasiva puede amplificar asimetrías. La estrategia de rotación, la equivalencia de tareas y el acceso posterior a representaciones alternativas permiten distribuir oportunidades de manera más justa.

1.5. INFRAESTRUCTURA, COSTOS Y CRITERIOS DE ADOPCIÓN

La adquisición de hardware ocupa una porción visible del presupuesto y oculta otras partidas. Un proyecto XR necesita preparación de escenas, equipos de desarrollo, licencias cuando correspondan, pruebas con usuarios, mobiliario seguro, limpieza, almacenamiento, recarga, soporte, reemplazo y actualización. Una app móvil demanda igualmente mantenimiento del sistema operativo, resolución de fallas, alojamiento, gestión de identidades y protección de datos. El costo total de propiedad debe calcularse durante toda la vida prevista del servicio; comparar únicamente el precio de compra conduce a decisiones de corta duración.

La capacidad docente forma parte de la infraestructura. Ningún laboratorio se sostiene si solo una persona sabe iniciar las aplicaciones, resolver errores o adaptar las actividades. Conviene distinguir niveles de responsabilidad: el docente decide objetivos y retroalimenta; un facilitador tecnológico prepara equipos y acompaña incidencias; el equipo de desarrollo corrige errores y administra versiones; la institución establece políticas de seguridad y privacidad. No se requieren equipos grandes para todos los pilotos, pero sí responsables identificados y procedimientos documentados.

La interoperabilidad reduce dependencia tecnológica. En aplicaciones móviles, conviene utilizar formatos de datos exportables y servicios documentados; en actividades inmersivas, separar contenido pedagógico de elementos exclusivos de un proveedor facilita futuras migraciones. OpenXR y WebXR son vías relevantes de estandarización, aunque no garantizan paridad funcional entre dispositivos y navegadores. Es necesario revisar qué funciones dependen de SDK propietarios, qué permisos solicitan, qué formatos son reutilizables y qué componentes podrían sustituirse sin reescribir toda la experiencia.

La evaluación de inversiones puede adoptar una matriz que cruce valor pedagógico, factibilidad y riesgos. Una práctica de laboratorio costosa, peligrosa o inaccesible podría justificar un simulador inmersivo incluso con una dotación limitada; una explicación de conceptos básicos probablemente no necesite esa inversión. El análisis debe considerar el escenario base: «¿qué ocurre si no compramos el visor?». Cuando una herramienta existente puede cumplir la misma función con eficacia similar, la inversión alternativa debe demostrar un beneficio específico, no solo ofrecer una demostración más vistosa.

Las instituciones públicas y privadas necesitan reglas de evaluación ex ante y ex post. Antes de iniciar, deben especificar aprendizaje esperado, población destinataria, estrategia de acceso, datos requeridos, soporte, indicadores y criterios de suspensión. Después deben revisar resultados académicos, problemas de uso, incidentes de seguridad, costos de mantenimiento y satisfacción contextualizada. Un proyecto que produce entusiasmo inicial pero no conserva evidencia educativa ni capacidad operativa no ha demostrado sostenibilidad.

1.5.1. Matriz de decisión tecnológica

La siguiente matriz no asigna puntuaciones universales. Sirve para comparar alternativas ante un problema concreto y fundamentar las elecciones de un comité docente-técnico.

Dimensión	Pregunta de decisión	Evidencia mínima solicitada
Aprendizaje	¿Qué desempeño observable mejorará?	Objetivos y rúbrica de transferencia
Necesidad del medio	¿Qué aporta el móvil o la inmersión que no logre una alternativa?	Comparación de tareas y escenarios
Acceso	¿Quién podría quedar excluido?	Pruebas de conectividad, movilidad y accesibilidad
Seguridad	¿Qué riesgos crea la actividad?	Inspección del espacio y protocolo de incidentes
Privacidad	¿Qué datos son indispensables?	Inventario, base de tratamiento y retención
Operación	¿Quién actualizará y resolverá fallas?	Responsables, calendario y presupuesto
Evaluación	¿Cómo se comprobará el efecto?	Diseño, instrumentos y criterios de interpretación

La decisión final debe registrarse como una hipótesis institucional revisable. Su calidad depende de la evidencia que permita descartarla o ajustarla si no genera los resultados previstos.

1.6. PERSPECTIVAS INSTITUCIONALES Y DESIGUALDADES DE LA TRANSFORMACIÓN EDUCATIVA

1.6.1. Brecha de acceso, uso y aprovechamiento

La desigualdad digital se manifiesta en capas diferentes. El acceso material pregunta si existe un dispositivo y una conexión; la brecha de uso examina qué actividades puede realizarse con ese acceso; la brecha de aprovechamiento analiza qué oportunidades sociales o educativas se derivan de dichas actividades. Una universidad puede instalar un laboratorio con equipos idénticos y continuar produciendo diferencias si algunos estudiantes disponen de conocimientos previos, apoyo y tiempo para

practicar, mientras otros emplean la mayor parte de su sesión en aprender a manejar controles.

La evaluación de equidad no debería limitarse al porcentaje de personas que ingresó a una plataforma. Conviene observar quién logró completar la tarea con autonomía, quién necesitó ayuda, qué interrupciones se concentraron en determinados dispositivos y cuáles fueron las condiciones para transferir lo aprendido. Los indicadores de uso requieren denominadores claros: una tasa calculada sobre estudiantes que aceptaron utilizar un visor puede ocultar a quienes rechazaron o no pudieron participar. Los informes deben mostrar también vías alternativas de acceso y sus resultados.

La brecha de aprovechamiento está conectada con el currículo. Si el laboratorio se reserva para cursos de especialización y la mayoría del alumnado nunca tiene oportunidad de trabajar con modelos espaciales, la institución necesita justificar ese criterio de distribución. Podría ser razonable priorizar prácticas de alto riesgo o fenómenos complejos, pero tal decisión debe responder a necesidades formativas documentadas. El criterio de justicia no equivale a repartir idéntico tiempo de visor a todos los cursos; consiste en asignar recursos según posibilidades reales de mejorar aprendizaje y en evitar barreras innecesarias.

Las decisiones de infraestructura también distribuyen cargas de trabajo. Un estudiante con teléfono de gama baja puede experimentar mayor espera, consumo de batería o fallas de sincronización. Un docente que no cuenta con soporte acaba destinando horas a recuperar archivos. Medir esas cargas permite estimar el costo total de participación y no atribuir problemas de implementación a falta de interés. Cuando una app funciona solo en dispositivos recientes, se debería declarar claramente esa restricción y ofrecer medios alternativos.

1.6.2. Lenguas, contenidos y pertinencia cultural

La tecnología educativa tiende a circular con contenidos producidos en idiomas y contextos dominantes. Una actividad sobre patrimonio puede representar procesos locales desde categorías externas; una escena sobre agricultura puede utilizar cultivos y suelos ajenos a la región; una plataforma puede omitir términos reconocidos en

comunidades específicas. La pertinencia cultural necesita revisión de contenido y consulta, no únicamente traducción de botones.

El diseño participativo permite identificar ejemplos cercanos y lenguaje adecuado, pero también requiere reconocer límites de representación. Una comunidad puede no autorizar uso digital de ciertos símbolos o testimonios. La posibilidad técnica de reconstruir un espacio histórico no concede derechos sobre todas las narrativas asociadas. Un proyecto responsable distingue conocimiento público, información compartida con condiciones y material que no debe incorporarse. Esta deliberación enriquece la enseñanza al mostrar cómo la producción de conocimiento implica acuerdos sociales.

La diversidad lingüística afecta interfaces y evaluación. Un estudiante puede comprender el concepto científico y necesitar apoyo para expresarlo en una lengua de enseñanza que no domina plenamente. La app puede ofrecer glosarios, audio y equivalentes lingüísticos cuando estén validados. No resulta adecuado sustituir automáticamente vocablos técnicos con traducciones no revisadas y después evaluar un error originado por la herramienta. La evaluación de conocimiento disciplinar debe diferenciar comprensión de barreras lingüísticas no pertinentes al objetivo.

1.6.3. Temporalidad de la innovación y obsolescencia

Las tecnologías se renuevan más rápido que la mayor parte de los programas académicos. Un dispositivo puede ser reemplazado durante el ciclo de vida de una carrera universitaria y un SDK cambiar varias veces antes de que una investigación concluya. Esta asimetría impide construir todo el currículo alrededor de pasos concretos de instalación o una interfaz comercial específica. Los contenidos formativos de mayor duración son principios de diseño, modelización, privacidad, evaluación, accesibilidad y razonamiento crítico; las instrucciones técnicas se mantienen como anexos versionados dentro de un proyecto.

La obsolescencia también afecta las evidencias publicadas. Un estudio sobre una versión anterior de VR puede conservar relevancia teórica y, al mismo tiempo, no reflejar las condiciones actuales de comodidad o interacción. La revisión de literatura debe registrar versiones y características de implementación cuando estén disponibles.

Al comparar estudios, importa tanto el año como el diseño concreto: nivel de guía, tipo de pantalla, duración, tarea y experiencia previa. Considerar «realidad virtual» una intervención uniforme debilita las inferencias.

En términos editoriales y científicos conviene separar un manual de instalación de un modelo explicativo. El primero debe actualizarse cuando cambian paquetes; el segundo requiere revisión a medida que aparece nueva evidencia. El libro prioriza esta diferencia para no prometer vigencia indefinida de comandos o capacidades de hardware. La responsabilidad de actualización también debe estar presupuestada por la institución que adopta la solución.

1.7. MARCO DE ANÁLISIS SOCIOTÉCNICO PARA PROYECTOS EDUCATIVOS

1.7.1. La unidad de intervención es una práctica

Cuando una institución compra una herramienta, su unidad de gestión suele ser un bien o licencia. Para evaluar transformación educativa, la unidad de análisis más informativa es una práctica: un conjunto estable de personas, roles, materiales, decisiones y criterios de logro. Una aplicación no se evalúa correctamente si se separa del modo en que el docente propone preguntas o retroalimenta. Un visor tampoco puede juzgarse solo por número de interacciones si se utiliza en una actividad que no exige comprensión conceptual.

La descripción de una práctica debe incluir un antes y un después posible. Antes, los estudiantes representan una cuenca mediante un mapa y reciben comentarios generales; después, podrían registrar hipótesis, manipular un modelo, comparar observaciones y justificar su revisión. El cambio relevante no es «se usó un visor», sino que la actividad produjo una cadena de evidencia y argumentación antes ausente. La hipótesis debe aceptar que un rediseño pedagógico sin visor podría producir un efecto similar o superior.

Los actores necesitan visibilidad de su propio trabajo. Los desarrolladores requieren criterios de aceptación; el docente, una secuencia y rúbrica; el estudiante, orientación y autonomía; la gestión, presupuesto y seguridad; el equipo de

investigación, definiciones y registros reproducibles. Un mapa de responsabilidades ayuda a detectar huecos. Por ejemplo, si nadie es responsable de revisar el modelo científico después de una actualización, la calidad queda expuesta aunque todas las pruebas informáticas resulten correctas.

1.7.2. Mapa de actores y decisiones

Actor	Decisión propia	Evidencia que necesita	Riesgo si se omite
Estudiante	Modalidad, ritmo y revisión	Objetivo claro y estado de datos	Pérdida de autonomía y acceso
Docente	Actividad, guía y evaluación	Rúbrica, desempeño y ayudas	Uso ornamental de tecnología
Especialista disciplinar	Exactitud de modelos y fuentes	Supuestos y pruebas de dominio	Enseñanza de relaciones incorrectas
Equipo de software	Arquitectura y estabilidad	Requisitos y pruebas	Fallas de operación y datos
Soporte	Preparación, recuperación y versiones	Inventario y procedimientos	Interrupciones y dependencia personal
Gestión institucional	Inversión y gobernanza	Costo total, riesgos y resultados	Adopción insostenible
Evaluación e investigación	Validez e inferencia	Instrumentos y protocolo	Conclusiones no justificadas

1.7.3. Criterios de madurez de una iniciativa

La primera etapa de madurez consiste en definir necesidad y destinatarios. En la segunda se diseñan tareas y pruebas de usuario con prototipos pequeños. En la tercera se implementa una versión estable y se contrastan indicadores de aprendizaje. En la cuarta se examinan soporte, equidad y costo total para decidir escalamiento. Una quinta etapa incorpora revisión periódica, posibilidad de retirada y publicación de conocimiento replicable. Estas etapas son un marco propuesto de gestión, no una escala validada psicométricamente.

Las instituciones pueden utilizarlo para reconocer prioridades. Un equipo que cuenta con un visor pero no ha definido objetivos se encuentra todavía en la primera etapa, sin importar el precio del hardware. Una aplicación sencilla con evidencia

reproducible y presupuesto de mantenimiento puede tener mayor madurez. La clasificación no pretende asignar prestigio, sino orientar decisiones concretas de mejora.

La revisión debe evitar puntajes de madurez engañosamente precisos. Es preferible un informe narrativo sobre qué condiciones se cumplen, cuáles faltan y qué prueba permitiría avanzar. Un sistema con excelente accesibilidad y débil control de datos no debería recibir una nota alta por promedio aritmético: ciertas fallas son críticas y requieren corrección antes del uso.

1.8. ESCENARIOS DE ADOPCIÓN INSTITUCIONAL EN AMÉRICA LATINA

1.8.1. Institución con conectividad robusta y personal de soporte

Una universidad con red estable, equipo de desarrollo y laboratorio dedicado puede integrar un sistema móvil con visor y analítica educativa. La principal decisión no consiste en aprovechar todas las capacidades, sino limitar el proyecto a unas pocas tareas difíciles de enseñar por otros medios. La disponibilidad técnica facilita ensayos iterativos, controles de versiones y colaboración entre áreas, pero también puede promover compras prematuras basadas en demostraciones espectaculares.

La gobernanza requiere contratos y protocolos de investigación separados del uso docente ordinario. Las facultades pueden compartir un laboratorio, pero los datos y criterios de evaluación deben mantenerse diferenciados. Un centro de innovación puede coordinar bibliotecas de componentes reutilizables sin imponer un guion único a todas las disciplinas. El aprendizaje obtenido se documenta en fichas comparables para evitar que cada nuevo proyecto repita errores de instalación, acceso o seguridad.

1.8.2. Institución con conectividad intermitente y presupuesto limitado

Una sede que dispone de teléfonos heterogéneos y acceso a pocos visores necesita otra estrategia. La prioridad puede ser una app offline de observación y una colección de simulaciones accesibles desde computadoras. Un visor compartido se reserva para una práctica espacial especialmente relevante y se organiza una rotación con tareas complementarias. Esta opción no es una versión inferior del proyecto ideal; constituye una arquitectura ajustada a condiciones reales.

La preparación incluye paquetes de contenido descargables, baterías suficientes, procedimientos de exportación por archivos y soporte capaz de recuperar trabajo. El presupuesto debe contemplar reemplazos y no basarse solo en una donación inicial. Los instrumentos de evaluación son los mismos que en una sede mejor equipada cuando se pretende comparar competencias, aunque los medios puedan ser distintos.

1.8.3. Red de instituciones que comparte contenidos científicos

Una red regional puede colaborar en modelos y secuencias didácticas, manteniendo local la evaluación y los datos personales. Compartir recursos permite distribuir costos de diseño, revisión científica y traducción. Para hacerlo de manera sostenible se necesitan formatos, licencias, versiones y responsables de mantenimiento conocidos. Un recurso interoperable no puede depender de la contraseña personal de su creador ni de un servicio que impida exportar el contenido.

La validación debe admitir diferencias de población y contexto. Un modelo de cuenca que funciona para enseñar principios generales puede necesitar ejemplos locales o ajustes de accesibilidad. Los equipos deben documentar qué partes se adaptaron y cuáles permanecen estables, conservando trazabilidad. La cooperación es más valiosa cuando cada institución contribuye también resultados negativos y límites operativos, no solo fotografías de eventos exitosos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS COGNITIVOS Y ARQUITECTURAS PEDAGÓGICAS PARA APRENDER CON TECNOLOGÍA

2.1. DEFINIR APRENDIZAJE ANTES DE SELECCIONAR UNA INTERFAZ

Una experiencia educativa se diseña a partir de un desempeño, no de una pantalla. «Conocer el ciclo hidrológico» puede significar memorizar nombres de procesos, interpretar una representación gráfica, construir una explicación causal o decidir qué intervención mitiga una inundación. Cada desempeño requiere evidencia distinta. Una pregunta de reconocimiento de etiquetas puede ser adecuada para vocabulario inicial, pero es insuficiente para evaluar transferencia. Definir verbos observables —explicar, contrastar, estimar, justificar, diagnosticar— orienta la selección de tareas y evita que la sofisticación tecnológica encubra un objetivo poco claro.

El alineamiento constructivo articula objetivos, actividades y evaluación. Si se pretende que el estudiante argumente decisiones, la actividad debe ofrecer opciones con consecuencias distinguibles y la evaluación debe valorar la calidad de la justificación, no solo el número de elementos pulsados. Si se desea desarrollar observación científica, el sistema debe conservar incertidumbre, permitir registros y fomentar contrastes. No hay alineamiento cuando la experiencia inmersiva ofrece exploración libre y el examen posterior solo exige repetir una definición; se miden procesos que la secuencia no cultivó de manera intencional.

El aprendizaje situado aporta otra exigencia: el conocimiento adquiere significado en prácticas, herramientas y comunidades concretas. Un teléfono en una salida de campo no es solo un visor de instrucciones; puede funcionar como cuaderno,

instrumento de registro y punto de intercambio entre compañeros. En una simulación XR, el papel de aprendiz cambia cuando debe actuar como técnico, mediador o analista ante un escenario con restricciones. El realismo físico no basta: también deben representarse las decisiones, criterios y responsabilidades que definen una práctica profesional auténtica.

La actividad auténtica debe graduarse. Para quien carece de conocimientos previos, un entorno complejo puede ocultar lo esencial; para quien domina procedimientos básicos, un recorrido excesivamente guiado puede impedir la autonomía. La misma aplicación puede disponer de modos: demostración, práctica con pistas, resolución guiada por objetivos y desafío abierto. El cambio de nivel debe relacionarse con criterios de competencia, no únicamente con cantidad de minutos o supuestas categorías fijas de «estilo de aprendizaje».

2.2. CARGA COGNITIVA Y APRENDIZAJE MULTIMEDIA

La teoría cognitiva del aprendizaje multimedia de Mayer (2024) sostiene tres supuestos generales: procesamiento por canales verbal y visual, capacidad limitada de procesamiento y aprendizaje activo mediante selección, organización e integración. En diseño educativo, esto obliga a controlar lo que aparece simultáneamente. Un entorno tridimensional puede presentar modelos complejos, etiquetas flotantes, narración, música, indicadores y mensajes; su acumulación no significa mayor información aprendida. A menudo conviene suprimir estímulos accesorios, separar pasos y permitir que el estudiante controle el ritmo.

La carga cognitiva no es simplemente una medida de dificultad. Hay demandas inherentes al contenido, esfuerzo que deriva de cómo se presenta y procesamiento productivo destinado a comprender. Un problema de dinámica de fluidos puede ser complejo por naturaleza; añadir texto minúsculo que se mueve mientras el estudiante gira la cabeza produce una dificultad adicional evitable. La finalidad del diseño no es eliminar toda exigencia mental, sino reservar recursos para procesos relevantes: comparar variables, interpretar anomalías y formular explicaciones.

La señalización dirige la atención a relaciones necesarias. En móvil puede utilizarse un contorno discreto, una flecha con contexto o una pista que aparece tras un intento fallido. En Meta Quest, una señal espacial puede orientar hacia un objeto sin obligar a perseguir una etiqueta flotante. El principio de coherencia desaconseja animaciones y sonidos decorativos cuando no contribuyen al objetivo. La segmentación separa procedimientos largos en unidades manejables, y el entrenamiento previo presenta nombres, controles y componentes antes de iniciar tareas de razonamiento complejas.

La revisión de Poupard et al. (2025) advierte que ciertos diseños de realidad virtual imponen carga extrínseca, especialmente a principiantes. La implicación práctica no es excluir la inmersión, sino introducir una fase de familiarización y conservar la posibilidad de estudiar con una alternativa menos exigente. También conviene medir carga percibida y observar acciones de desorientación; la percepción de novedad puede coexistir con malos resultados de aprendizaje. Una evaluación completa contrasta comprensión, transferencia, errores, ayuda solicitada y malestar, no solo satisfacción.

La redundancia también exige discernimiento. Presentar exactamente el mismo párrafo escrito mientras una voz lo lee puede añadir competencia innecesaria entre canales, especialmente en un visor que obliga a mantener la cabeza inmóvil. Sin embargo, los subtítulos son indispensables para accesibilidad y pueden apoyar comprensión lingüística. La decisión correcta no es prohibir duplicaciones, sino permitir opciones de personalización: activar subtítulos, regular velocidad, detener narración y consultar un resumen textual fuera del visor. Los principios cognitivos se aplican junto con derechos de acceso.

2.3. CONSTRUCTIVISMO, INDAGACIÓN Y APRENDIZAJE EXPERIENCIAL

Las simulaciones educativas permiten manipular condiciones, observar consecuencias y revisar modelos. Su potencial depende de la estructura de investigación que las acompaña. Antes de entrar a una escena inmersiva, una consigna puede exigir que cada estudiante prediga qué ocurrirá al modificar una variable. Durante la exploración, el sistema debe permitir registrar observaciones y distinguir los valores

efectivamente cambiados. Después, el grupo compara resultados, explica discrepancias y discute límites del modelo. La experiencia se convierte así en un ciclo de hipótesis, acción y reflexión.

El aprendizaje basado en problemas se beneficia de escenarios que no poseen una respuesta inmediatamente visible. Un ejemplo es la gestión de una zona expuesta a inundaciones: el estudiante dispone de presupuesto limitado, datos parciales y alternativas con efectos diferentes. La app móvil entrega documentos, antecedentes y un cuaderno de decisiones; la escena tridimensional muestra consecuencias espaciales. La calidad pedagógica surge de la necesidad de justificar elecciones, no de acumular efectos visuales. Un diseño debe evitar convertir un problema científico en un juego de aciertos arbitrarios.

La colaboración distribuye perspectivas y hace explícitos los argumentos. No necesita que todos utilicen un visor al mismo tiempo. En una dinámica por estaciones, una persona explora una simulación, otra registra observaciones en el móvil, una tercera contrasta referencias y otra propone una interpretación. Los roles rotan para evitar especializaciones rígidas. Una puesta en común exige defender conclusiones a partir de datos y reconocer la influencia de limitaciones técnicas. Esta estructura permite trabajar con pocos dispositivos y reduce el riesgo de que la actividad sea un espectáculo individual.

La reflexión posterior determina buena parte del valor formativo. La percepción de «haber estado allí» puede crear una ilusión de comprensión: una escena impresiona, pero la explicación causal permanece incompleta. El docente necesita preguntas de reconstrucción: ¿qué cambió?, ¿qué dato fue más decisivo?, ¿qué interpretación alternativa se descartó?, ¿qué fenómeno real no representa el modelo? La verbalización y el contraste convierten una experiencia perceptiva en conocimiento discutible.

2.3.1. Secuencia de indagación propuesta

Momento	Acción del estudiante	Mediación docente	Evidencia verificable
Activación	Recupera ideas previas y formula una predicción	Presenta un fenómeno y revela criterios	Hipótesis escrita con justificación
Exploración	Observa y altera una variable controlada	Verifica uso correcto de controles	Registro de parámetro y resultado
Explicación	Relaciona evidencia y mecanismo	Solicita alternativas plausibles	Modelo causal breve
Transferencia	Resuelve un escenario nuevo	Reduce las pistas y contrasta criterios	Decisión explicada y revisable
Metacognición	Reconoce incertidumbre y error	Retroalimenta proceso y producto	Reflexión sobre límites del modelo

2.4. DISEÑO UNIVERSAL, INCLUSIÓN Y SEGURIDAD PEDAGÓGICA

El diseño inclusivo comienza con una pregunta incómoda: ¿qué debe poder aprender una persona que no puede —o no desea— usar el visor? La respuesta tiene que estar definida antes de programar. Una alternativa puede utilizar videos de recorrido con control de pausa, modelos 3D en computadora, descripciones auditivas, materiales táctiles o tareas colaborativas equivalentes. Equivalencia no significa experiencia sensorial idéntica; significa oportunidad razonable de demostrar los mismos resultados de aprendizaje con apoyos adecuados.

Las directrices DUA 3.0 de CAST (2024) proponen opciones para sostener compromiso, presentar información y ofrecer formas de acción y expresión. En móvil, ello se concreta en tipografía escalable, lectura clara, navegación consistente, contrastes adecuados, lenguaje directo, opciones de audio y tiempos flexibles. Las WCAG 2.2 de W3C (2023/2024) proporcionan criterios verificables para muchos componentes web; un sistema XR requiere comprobaciones adicionales porque una interfaz puede cumplir estándares de pantalla y continuar siendo difícil de manejar en profundidad o con seguimiento corporal.

La interacción espacial necesita alternativas a gestos finos, amplitud de movimiento y permanencia de pie. Los objetos importantes deben ubicarse en una zona cómoda, permitir interacción sentada y mantener distancias legibles. La navegación

mediante teletransporte puede reducir ciertos problemas asociados al desplazamiento artificial continuo; no garantiza ausencia de mareo, por lo que es imprescindible ofrecer salida inmediata, sesiones acotadas y observación de síntomas. El usuario debe poder detener la experiencia sin perder una evaluación o ser penalizado.

El manejo institucional de visores supone un protocolo de seguridad. Antes de cada sesión se verifica despeje del área, ajustes del dispositivo, límites físicos, higiene, supervisión y condiciones de salud informadas por las guías del fabricante. Meta (2026) recomienda revisar sus advertencias de uso y realizar pausas. En caso de estudiantes menores de edad deben aplicarse requisitos de cuenta, edad y supervisión vigentes en el país. Ninguna tarea académica justifica eludir esas restricciones.

La inclusión también es socioeconómica. El alumnado no debe verse obligado a adquirir un visor particular ni pagar software para cumplir una asignatura, a menos que exista una política institucional justificada y alternativas reales. La distribución de dispositivos por estaciones puede garantizar participación; el préstamo domiciliario demanda políticas más complejas de seguridad, cuidado y soporte. La accesibilidad debe presupuestarse como parte del producto, porque corregir una escena completa cuando ya se programaron interacciones dependientes de un gesto único suele ser costoso.

2.5. EVALUACIÓN DE APRENDIZAJES Y EVIDENCIA DE EFICACIA

Una evaluación válida especifica el constructo que pretende medir. En una aplicación móvil, los clics no equivalen a comprensión; en XR, la rapidez al agarrar un objeto no necesariamente refleja competencia profesional. La medición debe separar ejecución de interfaz, familiaridad con la tecnología y dominio conceptual. Una persona puede saber interpretar un fenómeno, pero fallar por no dominar el controlador. Por esta razón conviene administrar tareas de familiarización y recoger indicadores de usabilidad de forma separada al rendimiento académico.

La evaluación formativa funciona durante la actividad: preguntas diagnósticas, pistas graduadas, comparación entre predicción y observación y retroalimentación que

explica un error. La evaluación sumativa examina desempeños complejos con criterios conocidos: razonamiento causal, justificación, interpretación de evidencia y transferencia a un escenario nuevo. Las rúbricas analíticas ayudan a separar dimensiones; requieren descriptores observables y ejemplos de respuestas que representen cada nivel. Un porcentaje de respuestas correctas puede complementar, pero no sustituir, un juicio sobre la argumentación.

Los estudios de eficacia necesitan comparación. Un diseño con grupo de referencia, medición previa y posterior, criterios de inclusión claros y seguimiento puede ofrecer evidencia más fuerte que una encuesta de satisfacción al terminar una actividad. La asignación aleatoria resulta valiosa cuando es viable y ética; si no lo es, un diseño cuasiexperimental bien documentado puede examinar diferencias iniciales y factores de confusión. Importa definir anticipadamente el resultado primario, la ventana temporal y las pérdidas de seguimiento, evitando elegir después la métrica que arrojó el cambio más favorable.

Las revisiones de Conrad et al. (2024), Huang et al. (2025) y Oje et al. (2025) muestran que los efectos de las experiencias inmersivas dependen de variables de diseño y contexto. Los resultados de una disciplina o población no deben extrapolarse automáticamente a todas. Evaluar un prototipo requiere además preguntar si la mejora observada corresponde al medio, a mayor tiempo de práctica, a una retroalimentación más rica o al entusiasmo de estudiantes con experiencia previa. La investigación responsable explicita estas alternativas en vez de adjudicar toda diferencia al hardware.

La experiencia de usuario aporta evidencia complementaria: errores, acciones completadas, rutas de navegación, ayuda requerida, tiempos de recuperación y percepción de control. La tasa de abandono puede señalar cansancio, incomodidad o instrucciones confusas, pero no debe interpretarse sin entrevistas u observación. En entornos educativos, la triangulación entre desempeño, conducta y relato contextual permite distinguir fallos del contenido de fallos de la interfaz.

2.5.1. Mapa de evidencias por nivel

Nivel	Pregunta de evaluación	Instrumento adecuado	Límite interpretativo
Reacción	¿Cómo percibió la experiencia?	Cuestionario breve y entrevista	No prueba aprendizaje
Usabilidad	¿Pudo completar tareas de interfaz?	Observación y registro de errores	Depende de familiaridad
Aprendizaje inmediato	¿Qué comprende al finalizar?	Prueba de desempeño y rúbrica	Puede reflejar efecto de corto plazo
Retención	¿Qué conserva más adelante?	Evaluación diferida	Sensible a experiencias posteriores
Transferencia	¿Aplica lo aprendido en otro problema?	Caso nuevo y justificación	Requiere criterio de equivalencia
Equidad	¿Quién se benefició o quedó excluido?	Análisis por condiciones de acceso	Subgrupos pequeños limitan inferencia

La eficacia educativa no se reduce a encontrar una diferencia estadísticamente significativa. También requiere importancia práctica, posibilidad de reproducción, distribución justa de beneficios y costos razonables. Cuando una solución digital mejora ligeramente un indicador, pero exige infraestructura inaccesible para la mayoría, su viabilidad social debe discutirse con la misma seriedad que sus resultados.

2.6. PATRONES DE ENSEÑANZA Y MECANISMOS DE APRENDIZAJE TRANSFERIBLES

2.6.1. Predicción antes de observación

La predicción convierte al estudiante en autor de una explicación provisional antes de recibir el resultado del sistema. Una escena puede hacer visible un fenómeno que, sin una pregunta previa, se contemplaría de forma pasiva. La consigna debe solicitar tanto una respuesta como su justificación y, cuando sea pertinente, un nivel de certeza. Posteriormente el alumno compara su expectativa con el comportamiento observado y explica qué elemento de su modelo mental necesita revisión.

Este patrón es especialmente útil cuando el fenómeno incluye relaciones causales susceptibles de contraste. No debe convertirse en juego de adivinación: se ofrecen conocimientos previos suficientes para formular hipótesis razonables. La retroalimentación no se limita a revelar la opción correcta, sino que muestra las

variables y supuestos que explican la diferencia. Una prueba de transferencia utiliza condiciones nuevas para comprobar si el razonamiento se mantiene.

2.6.2. Contraste de casos mínimos

Dos casos que difieren en una propiedad relevante permiten dirigir la atención a un mecanismo. Si una app muestra dos estructuras geométricas, o una escena XR dos configuraciones de terreno, la comparación debe especificar qué se mantiene constante. El estudiante identifica semejanzas y diferencias, predice una consecuencia y argumenta a partir de la variable que cambia. La selección de casos exige cuidado: diferencias accesorias pueden desviar la atención y debilitar la inferencia.

En la práctica, el docente puede utilizar pares de ejemplos correctos e incorrectos o secuencias graduadas de contraste. Las representaciones no tienen que ser espectaculares; una tabla y dos imágenes pueden ser suficientes. El éxito se mide por capacidad para explicar el principio en un tercer caso no visto y reconocer condiciones bajo las cuales el contraste inicial dejaría de ser informativo.

2.6.3. Explicación generativa y revisión de modelos

Pedir al estudiante que explique con sus propias palabras un mecanismo favorece la organización de relaciones entre conceptos. Un visor puede mostrar un proceso, pero el aprendizaje exige convertir esa percepción en un modelo verbal, gráfico o simbólico. La app móvil sirve para conservar versiones sucesivas y vincular cada cambio con una observación. El docente examina no solo si la explicación final es adecuada, sino qué inferencias fueron revisadas durante el proceso.

La retroalimentación debe señalar una relación específica que falta o una contradicción entre afirmaciones. Si el sistema ofrece de inmediato una respuesta completa, puede reducir las oportunidades de explicación autónoma. En cambio, una pista graduada invita a revisar un dato, comparar un estado anterior o formular una pregunta nueva. La evaluación se completa cuando el estudiante puede explicar un fenómeno semejante sin copiar el guion de la interfaz.

2.6.4. Aprendizaje por errores recuperables

Los errores pueden aportar información cuando la actividad conserva un entorno seguro y una oportunidad de corregir. Una simulación permite ensayar una decisión, observar consecuencias y revisar el plan sin provocar daño material. Sin embargo, el diseño debe distinguir el error de razonamiento del error de manipulación. Si la persona falla por seleccionar un objeto demasiado pequeño, la retroalimentación conceptual sería injusta.

Una secuencia útil solicita anticipación, acción, observación del resultado y explicación de una revisión. Las pruebas pueden incluir errores plausibles basados en dificultades conocidas, pero deben documentarse como ejemplos diseñados y no como datos de estudiantes reales. La evaluación valora la calidad de la corrección y la capacidad de detectar el mismo principio en una situación nueva.

2.6.5. Transferencia diferida y recuperación activa

Una experiencia llamativa puede producir rendimiento inmediato sin consolidación. La recuperación activa solicita recordar y utilizar conceptos en otro momento, idealmente sin todas las pistas del entorno original. Una app móvil facilita preguntas breves diferidas y actividades de aplicación; su conveniencia deriva de disponibilidad contextual, no de enviar notificaciones en exceso. Los intervalos y la frecuencia deben adaptarse a objetivos y evidencia disponible.

La evaluación diferida necesita distinguir memoria literal y transferencia. Recordar nombres de componentes es valioso para vocabulario, pero interpretar un sistema nuevo exige construir relaciones. Un diseño puede incluir ambos niveles de manera intencional. Debe registrarse qué materiales consultó el estudiante durante el intervalo y qué oportunidades adicionales de práctica pudieron influir en los resultados.

2.7. DISEÑO DE RÚBRICAS, TAREAS Y EVIDENCIAS INTERPRETABLES

2.7.1. Del constructo al descriptor observable

Una rúbrica comienza con una definición de competencia. «Pensamiento crítico» es demasiado amplio si no se explica qué debe hacer la persona ante una fuente,

problema o decisión. Para una práctica de cuenca podría definirse como capacidad de comparar explicaciones, distinguir evidencia de suposición y justificar una alternativa considerando restricciones. Cada dimensión se traduce en conductas observables y niveles suficientemente distintos. No debe confundirse longitud de respuesta con calidad del argumento.

Los descriptores necesitan calibración. Dos evaluadores revisan muestras de respuestas y explican por qué aplicaron determinado nivel. Cuando difieren, quizá la rúbrica permite interpretaciones incompatibles o el ejemplo presenta un caso límite. El proceso de revisión produce ejemplos ancla y orientaciones para decisiones difíciles. Una puntuación total sin comentarios dimensionales puede ocultar que el estudiante razona bien, pero utiliza unidades incorrectas.

2.7.2. Validez de las tareas en entornos móviles e inmersivos

La validez se debilita cuando la tarea mide principalmente habilidad para utilizar el dispositivo. Si el objetivo es identificar relaciones anatómicas, la persona debe poder mostrar conocimiento aunque maneje lentamente un controlador. La familiarización previa y las alternativas accesibles reducen interferencias, aunque ninguna las elimina por completo. Las pruebas de aprendizaje deberían diseñarse para exigir el constructo de interés y limitar demandas accidentales de navegación.

Las tareas también deben conservar autenticidad suficiente. Un examen basado solo en etiquetas podría subestimar capacidades de decisión, mientras una simulación abierta sin criterios produciría interpretaciones subjetivas. El equilibrio consiste en definir un problema realista con restricciones conocidas y una rúbrica que admita diversas soluciones justificadas. La evidencia debe permitir explicar por qué se asignó un nivel, no solo producir un número.

2.7.3. Evidencia de proceso y evidencia de resultado

La evidencia de resultado muestra qué solución produjo un estudiante; la de proceso documenta decisiones que llevaron a ella. En aprendizaje móvil pueden conservarse hipótesis, cambios y comentarios; en XR, suele ser suficiente registrar decisiones explícitas y variables, sin almacenar movimientos corporales detallados.

Ambos tipos se complementan cuando el objetivo incluye autorregulación o argumentación. Una decisión correcta obtenida al azar y otra sustentada en razonamiento sólido no deberían recibir idéntica valoración en todas las dimensiones.

Sin embargo, no toda tarea necesita capturar cada paso. El exceso de registro puede perjudicar privacidad y agobiar a docentes. Se seleccionan eventos relacionados con un criterio de aprendizaje, se documenta su significado y se establece retención. La analítica útil es una forma de medición con incertidumbre y supuestos, no una reproducción exhaustiva de conducta.

2.7.4. Triangulación y explicación de resultados

Para estudiar una experiencia inmersiva pueden combinarse rúbricas, observación de interacción, entrevistas y medidas de confort. Las fuentes responden preguntas diferentes. La rúbrica informa sobre un desempeño; la observación puede detectar que un control impide completar una acción; la entrevista explica cómo interpretó la persona una instrucción. Cuando las fuentes divergen, esa discrepancia requiere análisis en lugar de promediar todos los datos en un índice de «éxito».

Un resultado académico mejor puede deberse a diferentes mecanismos: mayor práctica, feedback más oportuno, representación más comprensible o familiaridad previa. La investigación debería registrar estas posibilidades y, cuando pueda, diseñar comparaciones que permitan examinarlas. Los resultados cualitativos no deben presentarse como porcentajes representativos sin un diseño de muestreo apropiado.

2.8. SECUENCIAS DIDÁCTICAS EQUIVALENTES POR MODALIDAD

2.8.1. Lectura con imágenes, simulación 2D y XR

Para comparar modalidades conviene mantener un núcleo pedagógico común: la misma pregunta científica, los mismos datos esenciales, objetivos equivalentes y criterios idénticos de corrección. Una lectura ilustrada puede ofrecer texto y diagramas; una simulación 2D permite cambiar variables; una escena XR añade manipulación espacial. Cada medio tiene ventajas y barreras diferentes, por lo que el guion de actividad necesita especificar qué información ofrece y cuánto tiempo consume.

No es válido construir una experiencia XR con retroalimentación interactiva extensa y compararla con un PDF sin explicación y concluir que la inmersión fue responsable de toda diferencia. Para aislar el efecto de representación, las condiciones deberían equilibrar instrucciones, feedback y práctica tanto como sea factible. Cuando no se pueda, el estudio debe reconocer que compara paquetes pedagógicos completos.

2.8.2. Diseño de una matriz de equivalencia

Factor	Texto y diagramas	Simulación 2D	Experiencia XR
Pregunta	Igual propósito conceptual	Igual propósito conceptual	Igual propósito conceptual
Variables	Valores descritos	Controles en pantalla	Controles espaciales accesibles
Evidencia	Explicación escrita o audio	Predicción y comparación	Predicción y comparación
Retroalimentación	Pistas del docente	Pistas y valores del sistema	Pistas y valores del sistema
Riesgos	Lectura y acceso	Conectividad y usabilidad	Confort, espacio y soporte
Transferencia	Caso nuevo equivalente	Caso nuevo equivalente	Caso nuevo equivalente sin visor

La equivalencia no implica identidad de la experiencia; requiere que la competencia pueda demostrarse con estándares comunes. La comparación debe registrar características de cada medio para explicar diferencias sin ocultar sus mecanismos.

2.8.3. Diseño del debriefing como intervención independiente

El debriefing no es una conversación improvisada al terminar una actividad. Puede organizarse en tres fases: reconstruir qué ocurrió, interpretar por qué sucedió y aplicar el aprendizaje a un problema nuevo. Las preguntas de reconstrucción solicitan datos específicos; las de interpretación examinan relaciones; las de aplicación exigen justificar decisiones bajo condiciones diferentes. El docente utiliza las respuestas para detectar si una impresión visual se convirtió en explicación.

Esta discusión puede constituir una intervención pedagógica importante por derecho propio. Una clase con buen debriefing puede superar una inmersión sin reflexión; por eso su calidad debe documentarse cuando se evalúa el uso de XR. La

investigación no debería atribuir automáticamente al visor el efecto de una mediación docente especialmente cuidadosa.

2.9. DILEMAS DE DISEÑO QUE AFECTAN EL APRENDIZAJE

2.9.1. Exploración libre o guía progresiva

Una experiencia abierta favorece autonomía, pero puede dispersar la atención cuando el contenido es nuevo. La guía progresiva introduce primero conceptos, acciones y señales relevantes; después reduce pistas a medida que el estudiante desarrolla criterios propios. La decisión no depende exclusivamente de edad: importa familiaridad con el dominio y complejidad de la tarea. Un aprendiz experto puede beneficiarse de libertad para probar hipótesis, mientras otro necesita observar un ejemplo trabajado antes de formular decisiones.

El diseño debe permitir comparar ambas estrategias mediante desempeños y no únicamente preferencias. Si la guía ofrece una solución anticipada, la mejora aparente podría proceder de copiar la respuesta. Por ello las evaluaciones deben incluir situaciones nuevas y una justificación que no pueda recuperarse literalmente de la pantalla.

2.9.2. Realismo visual o abstracción científica

Un modelo visualmente realista puede aumentar credibilidad, pero también distraer de relaciones que requieren simplificación. En aprendizaje de campos físicos, geometría molecular o ciclos naturales, las convenciones simbólicas hacen visible lo que no se observaría directamente. La cuestión es declarar qué rasgos conservan significado científico y cuáles fueron modificados por razones didácticas. La representación debe hacer transparente su nivel de fidelidad.

Un diseño adecuado permite alternar entre visión contextual y esquema analítico cuando resulte útil. La evaluación pregunta si el estudiante reconoce invariantes y limitaciones, no si recuerda la textura de un objeto. La espectacularidad no es un criterio independiente de aprendizaje.

2.9.3. Gamificación o rigor de la tarea

Recompensas, metas y retroalimentación pueden sostener participación, pero un sistema de puntos puede inducir decisiones orientadas a maximizar una puntuación en lugar de comprender. En actividades científicas, registrar incertidumbre o solicitar información adicional puede ser más adecuado que responder rápidamente. El diseño de recompensas debe reconocer procesos valiosos y evitar penalizar la cautela fundamentada.

Antes de incorporar rankings, conviene comprobar qué conducta incentivan y qué información exponen sobre estudiantes. Un tablero competitivo podría generar desigualdad cuando participan personas con conectividad diferente. La evaluación de gamificación debe incluir análisis de efectos no deseados y no reducir el éxito al incremento del tiempo de uso.

2.9.4. Personalización automática o control del aprendiz

Adaptar dificultad puede resultar útil si las reglas son transparentes, los criterios se corresponden con resultados y el estudiante puede revisar su ruta. Sin embargo, un algoritmo que encierra permanentemente a una persona en tareas «fáciles» según errores iniciales puede limitar oportunidades. La personalización debería ofrecer apoyos graduados y opciones de desafío, no fijar identidades de capacidad.

Un diseño responsable permite conocer por qué se recomienda un recurso, cambiar la modalidad y solicitar intervención docente. Los datos utilizados para decidir deben minimizarse y conservarse durante el tiempo justificado. La evaluación analiza si el sistema amplía agencia, no solo si reduce errores inmediatos.

2.9.5. Medición exhaustiva o privacidad proporcional

Capturar todos los eventos técnicos parece facilitar análisis futuro, pero aumenta riesgos y puede producir métricas difíciles de interpretar. En una tarea de comprensión causal, almacenar trayectorias completas de la cabeza probablemente aporta menos que conservar predicción, parámetro y explicación. La selección de datos requiere conexión directa con una pregunta académica o de operación.

La institución debe distinguir métricas necesarias para depuración técnica de evidencia para evaluación educativa. Cada colección necesita responsable, acceso y retención. Una política de minimización bien aplicada no impide investigar: obliga a formular preguntas mejores antes de almacenar información.

2.9.6. Individualización o colaboración

Una experiencia en visor puede aislar perceptivamente a quien la utiliza, mientras el objetivo curricular quizá requiera debate o coordinación. El diseño puede asignar roles complementarios, utilizar una pantalla externa cuando la privacidad lo permita y reservar una discusión posterior para construir explicaciones colectivas. La colaboración no exige que todos compartan una escena multiusuario compleja.

La evaluación debe distinguir aporte individual y producto grupal. Un alumno puede haber desarrollado comprensión sin manejar el visor, al organizar datos o cuestionar un supuesto. La distribución de roles se revisa para impedir que algunos estudiantes queden permanentemente relegados a tareas auxiliares.

2.9.7. Velocidad de respuesta o profundidad reflexiva

Los sistemas digitales facilitan medir tiempos, pero no toda competencia mejora cuando se responde más rápido. Una interpretación científica puede requerir comparar fuentes, detectar inconsistencia y reconocer incertidumbre. Los cronómetros son pertinentes en algunas habilidades operativas, pero no deberían generalizarse a tareas de argumentación.

El diseño debe permitir pausas y relecturas, con un tiempo máximo solo cuando exista una justificación curricular o de seguridad. La evaluación recoge calidad de solución y procesos relevantes. Una tarea cuya dificultad procede de la interfaz no puede utilizar tiempos de ejecución para inferir habilidad disciplinar.

2.9.8. Retroalimentación inmediata o demora estratégica

El feedback instantáneo es útil para un error de unidad o una acción de navegación, pero puede interrumpir un razonamiento que requiere exploración. En una actividad de hipótesis, revelar enseguida una respuesta puede cerrar oportunidades de

contraste. El diseño puede diferenciar señales técnicas inmediatas y retroalimentación conceptual después de una decisión completa.

La calidad depende del contenido del mensaje y de la oportunidad de revisión. Una frase que solo indica «incorrecto» puede generar repetición mecánica; un comentario que dirige atención a un dato ignorado permite reconstruir la explicación. La estrategia debe validarse con desempeño, no solo con aceptación de usuarios.

2.9.9. Contenido breve o complejidad conceptual

Las pantallas pequeñas invitan a dividir materiales en fragmentos, lo cual puede mejorar lectura y navegación. Sin embargo, una segmentación excesiva oculta relaciones entre elementos y obliga a recordar información de pantallas anteriores. La unidad de diseño debe corresponder a una tarea cognitiva completa y ofrecer enlaces o resúmenes cuando la relación entre partes sea indispensable.

En ciencias, un fenómeno sistémico necesita mapas y tablas que permitan comparar variables simultáneamente. Una app puede reservar el móvil para captura y reflexión breve, mientras una pantalla mayor o escena espacial presenta relaciones complejas. La elección de medio está al servicio del contenido, no de una regla fija de longitud.

2.9.10. Narrativa inmersiva o transparencia del modelo

Una historia puede aumentar interés y proporcionar un contexto significativo, pero también ocultar supuestos cuando el relato ofrece consecuencias inevitables. En educación científica, las decisiones de personajes no deben sustituir relaciones demostrables. Conviene diferenciar eventos narrativos, variables del modelo y datos empíricos que sustentan una interpretación.

Una actividad puede presentar un dilema situado y después permitir revisar el mecanismo sin elementos dramáticos. La evaluación solicita explicar qué ocurriría si cambiara una condición, de modo que el estudiante no confunda memoria de la historia con comprensión generalizable.

2.9.11. Aprendizaje autónomo o acompañamiento docente

Las aplicaciones pueden apoyar estudio independiente, pero no reemplazan automáticamente la mediación. Un estudiante puede interpretar de manera errónea una visualización y repetir el error sin darse cuenta. Las rutas de ayuda deben incluir pistas, ejemplos y posibilidad de consulta docente cuando sea necesaria. El sistema no debería prometer atención personalizada que el equipo institucional no puede sostener.

La autonomía se desarrolla mediante reducción gradual de apoyos y oportunidades de reflexionar sobre decisiones. Una evaluación de impacto necesita considerar calidad del acompañamiento, porque una misma app puede producir experiencias diferentes entre cursos que utilizan estrategias docentes distintas.

2.9.12. Evaluación individual o evidencias compartidas

Las actividades colaborativas generan registros colectivos, pero las decisiones de acreditación académica requieren comprender aportes individuales. Un producto grupal puede acompañarse de explicaciones personales, revisión entre pares y reflexión sobre el proceso. Los registros automáticos de actividad no sustituyen una conversación pedagógica y pueden favorecer a quien interactúa más con la interfaz en lugar de quien aporta mejor razonamiento.

La justicia de evaluación exige criterios publicados, oportunidad equivalente de participación y capacidad para revisar circunstancias particulares. No todos los cursos necesitan convertir colaboración en una nota cuantitativa de contribución; a veces la mejor evidencia es el argumento individual construido después del trabajo conjunto.

2.9.13. Simulación segura o falsa competencia profesional

Ensayar un procedimiento sin exponerse al riesgo real puede apoyar preparación, pero no implica que la persona esté habilitada para ejecutarlo en el mundo físico. Los modelos no siempre reproducen fuerzas, resistencia, señales sensoriales o presión social del contexto profesional. La secuencia formativa debe reconocer qué habilidades se entrenaron y cuáles requieren práctica supervisada adicional.

La evaluación de simuladores de salud, seguridad industrial o emergencias demanda revisión especializada. El diseño no debería utilizar certificados que sugieran

competencia operativa más allá de lo demostrado. La seguridad educativa incluye prevenir exceso de confianza producido por una experiencia visualmente convincente.

2.9.14. Innovación local o estandarización institucional

Las iniciativas docentes pueden surgir de necesidades particulares y producir soluciones creativas. La institucionalización requiere, sin embargo, prácticas comunes de seguridad, accesibilidad, protección de datos y mantenimiento. La tensión se resuelve con estándares mínimos para riesgos críticos y libertad para adaptar contenidos y actividades dentro de ellos.

Un centro de innovación puede ofrecer plantillas de consentimientos, rúbricas y pruebas técnicas sin imponer escenas idénticas a disciplinas distintas. La evaluación de cada caso debe examinar pertinencia curricular y no premiar simplemente conformidad con una estética institucional.

2.9.15. Experiencia breve o aprendizaje sostenido

Un único recorrido XR puede generar curiosidad, pero la construcción de competencias suele necesitar práctica, reflexión y oportunidades de recuperación. El diseño puede situar la inmersión dentro de una secuencia de varias sesiones con actividades móviles y no digitales. La proporción de tiempo en visor debe responder a la función pedagógica, no a una cuota de uso.

La evaluación inmediata y diferida permite examinar resultados distintos. Una intervención breve puede ser suficiente para visualizar una relación espacial particular, mientras un desempeño profesional complejo exige otras actividades y práctica real. El proyecto debe definir el alcance con precisión.

2.9.16. Métrica conveniente o indicador válido

Que una plataforma mida automáticamente clics, visitas y duración no significa que esas variables representen aprendizaje. El indicador debe derivarse de una definición del constructo y un argumento de validez. Por ejemplo, conservar las razones por las que se cambia una hipótesis puede ser más informativo que contar veces que se abrió un modelo.

La interpretación también necesita considerar contexto: interrupciones, dispositivos compartidos y ayudas externas. Los paneles deben declarar qué se cuenta, cómo y con qué exclusiones. La conveniencia técnica no constituye fundamento suficiente para introducir una métrica en evaluación académica.

2.9.17. Inmersión individual o accesibilidad multisensorial

Los recursos XR suelen priorizar visión y gestos, mientras algunos estudiantes necesitan apoyos auditivos, textuales o controles alternativos. La accesibilidad no se alcanza duplicando una señal en otro canal sin verificar su pertinencia. Una narración espacial puede ayudar a orientar, pero debe acompañarse de otras referencias para quienes no pueden oírla. El contenido importante debe poder consultarse y demostrarse de una manera compatible con necesidades diversas.

El éxito de una adaptación se mide por la capacidad de completar el aprendizaje, no por la existencia formal de una opción de configuración. Se requieren pruebas con tareas y usuarios, además de revisión de estándares técnicos.

2.9.18. Costo inicial o costo de continuidad

La compra de un visor es un gasto visible; el mantenimiento de experiencias comprende actualizar dependencias, revalidar modelos, reparar fallas, capacitar personas y sostener alternativas. Una decisión pedagógica debe considerar el horizonte completo del curso o programa. Un contenido complejo puede ser rentable cuando se reutiliza y produce valor probado, pero oneroso si deja de funcionar después de una actualización.

El análisis de costos necesita vincularse con aprendizaje y equidad. Un proyecto barato que excluye a parte de la cohorte no resuelve la necesidad; uno costoso que reproduce una explicación ya disponible requiere demostrar beneficio diferencial. La evaluación institucional debe comunicar estas compensaciones.

2.9.19. Publicación de evidencias o derecho a la privacidad

Los proyectos educativos buscan difundir buenas prácticas y a veces incluyen fotografías, grabaciones o trabajos estudiantiles. La difusión requiere una finalidad y autorización independientes de la participación académica. El estudiante debe poder

aprender y ser evaluado sin verse obligado a aparecer en materiales promocionales. Los datos se anonimizan cuando corresponde y se comprueba que las imágenes no permitan identificaciones indirectas innecesarias.

La publicación científica también necesita transparencia sobre métodos y resultados, pero no exige divulgar datos personales. Puede compartir instrumentos, protocolos y análisis agregados. La trazabilidad de la investigación se concilia con privacidad mediante decisiones técnicas y organizativas planificadas.

2.9.20. Tecnologías de un proveedor o principios transferibles

Los SDK propietarios facilitan características avanzadas, pero sus interfaces cambian. Un currículo que enseña únicamente rutas de menú de una versión puede quedar obsoleto. Es más robusto relacionar funciones con principios: interacción, referencia espacial, sincronización, evidencia, accesibilidad y diseño cognitivo. Los comandos concretos se aprenden como implementación de esos conceptos.

La evaluación de competencias tecnológicas puede solicitar justificar arquitecturas o diseñar una prueba, no memorizar nombres de paquetes. Esta orientación prepara a docentes y desarrolladores para adoptar plataformas futuras sin abandonar criterios educativos y científicos.

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DE APLICACIONES MÓVILES ORIENTADAS AL APRENDIZAJE

3.1. DEL PROBLEMA EDUCATIVO AL PRODUCTO MÍNIMO ÚTIL

La primera versión de una aplicación educativa debe resolver un problema de enseñanza o aprendizaje bien descrito, no intentar incorporar todas las funciones de una plataforma comercial. Una definición útil identifica a las personas, su contexto, el obstáculo observable y la oportunidad de intervención. «Los estudiantes de hidrología registran mediciones en hojas sueltas y pierden la relación entre observación, coordenada y discusión» es una definición comprobable. «Necesitamos una app innovadora» no establece qué debe mejorar ni permite decidir cuándo el trabajo está terminado.

La investigación con usuarios combina entrevistas, observación contextual y análisis de artefactos existentes. Conviene observar cómo el docente entrega consignas, qué hace el estudiante cuando falla la red y de qué modo se registran correcciones. Las necesidades expresadas deben distinguirse de las soluciones sugeridas: que un usuario pida «chat en tiempo real» puede significar que necesita compartir una corrección, no necesariamente abrir un nuevo canal de mensajería. La síntesis debe traducir las observaciones en tareas, restricciones y criterios de aceptación que puedan verificarse.

Un perfil de usuario es útil cuando representa condiciones reales del trabajo, no estereotipos. Puede describirse un estudiante con teléfono de capacidad limitada y conectividad intermitente, un docente que revisa treinta registros entre sesiones, una persona que necesita lector de pantalla y un responsable de laboratorio que administra dispositivos compartidos. Estos perfiles organizan prioridades de diseño; no son resultados de encuestas cuando no se han investigado. En una obra de diseño como esta

se presentan como supuestos que tendrán que contrastarse con usuarios antes de desarrollar el sistema.

El producto mínimo útil integra un recorrido completo. Para una app de observación, el mínimo puede incluir acceso al módulo, instrucciones descargables, captura de registro, edición, validación local y exportación. Añadir rankings, avatares o personalización avanzada antes de garantizar la conservación de datos distrae recursos de la función principal. Un prototipo de baja fidelidad permite recorrer pantallas y probar la comprensión de etiquetas sin haber construido la aplicación. Sus fallas son baratas de corregir y proporcionan evidencia temprana sobre el lenguaje de la interfaz.

3.1.1. Historia de usuario y criterio de aceptación

Una historia de usuario expresa necesidad y valor: «Como estudiante que trabaja en campo, quiero guardar una medición sin conexión para no perder evidencia cuando la señal sea inestable». Los criterios de aceptación vuelven verificable la frase: el formulario se abre sin red; el registro contiene hora y unidad; se guarda localmente; muestra un estado «pendiente de sincronización»; permanece tras reiniciar la app; y el sistema informa conflictos cuando reaparece la conexión. La calidad del producto se mide en estas conductas observables, no en adjetivos como «amigable» o «intuitivo» que carecen de umbral.

Una historia de docente podría solicitar revisar respuestas por criterio de rúbrica. Para aceptarla, el equipo tendría que comprobar que el evaluador puede acceder a la evidencia, asociar comentarios a dimensiones, conservar versiones y devolver sugerencias al estudiante. La finalidad es hacer una retroalimentación más precisa sin imponer al profesor una segunda contabilidad manual.

3.2. DISEÑO DE INTERACCIÓN Y ACCESIBILIDAD EN PANTALLAS PEQUEÑAS

La pantalla móvil obliga a priorizar. Un formulario destinado a registrar observaciones no debería mezclar información de contexto, configuración, permisos y preguntas extensas en un único bloque. La jerarquía visual presenta primero el propósito de la tarea, luego el dato indispensable y finalmente acciones de confirmación. Cada

decisión de interfaz debe permitir comprender el estado del sistema: editando, guardado localmente, sincronizando, validado o pendiente de corrección. El silencio frente a un fallo es especialmente dañino cuando la información representa trabajo académico irrepetible.

Las microinteracciones enseñan el comportamiento del producto. Una validación que explica «la unidad debe ser mg/L» ayuda a corregir el dato; un mensaje genérico «error de formato» no lo hace. Una fotografía puede ofrecer revisión antes de guardar y un botón para eliminar información sensible. Una pregunta de reflexión debe disponer de tiempo de lectura y edición. Las animaciones, si existen, deben apoyar orientación y no alargar procesos recurrentes. La sensación de control del estudiante mejora cuando puede deshacer cambios y verificar qué evidencia será enviada.

El texto de interfaz exige una política lingüística. El uso indiscriminado de tecnicismos puede excluir usuarios; la simplificación excesiva puede alterar el significado de una medida. Conviene usar nombres completos en la primera aparición, abreviaturas consistentes, ayudas contextuales y ejemplos correctos de unidades. Un botón «Enviar» no debe ocultar si se trata de sincronizar un borrador o cerrar una evaluación definitiva. El lenguaje orienta también la seguridad: una aplicación con geolocalización debe explicar cuándo se activa, por qué y cómo deshabilitarla.

La accesibilidad combina componentes técnicos y pruebas humanas. Tamaños de fuente ajustables, orden de lectura, etiquetas descriptivas, objetivos táctiles suficientemente amplios, foco visible, contraste y equivalentes textuales son requisitos habituales. Un mapa debe ofrecer lista de puntos o tabla de coordenadas para no depender exclusivamente de información cromática o espacial. Los videos necesitan alternativas de audio y subtítulos cuando correspondan. Las WCAG 2.2 resultan referencia para aplicaciones web y componentes híbridos; la verificación final requiere pruebas con tecnologías de asistencia y personas diversas.

3.2.1. Prototipado centrado en tareas

Una sesión temprana de prueba debe comenzar con una consigna de comportamiento, no con un recorrido guiado por el diseñador. «Registra una observación y corrígela» permite descubrir si las etiquetas comunican sus funciones. Se

anotan éxito, errores, dudas verbales, pasos superfluos y recuperaciones. Cuando el evaluador explica anticipadamente dónde pulsar, destruye una parte de la evidencia. El objetivo no es demostrar que el prototipo funciona, sino encontrar dónde obliga a adivinar.

3.3. ARQUITECTURA DE SOFTWARE, DATOS Y SINCRONIZACIÓN

Una arquitectura pedagógica sostenible separa presentación, reglas de dominio y persistencia. La capa de interfaz ofrece pantallas y comunica estados; la capa de dominio valida registros, asigna permisos y ejecuta reglas de evaluación; la capa de datos conserva objetos locales y sincroniza con servicios remotos. La separación facilita probar reglas sin depender del dispositivo y cambiar una pantalla sin reescribir la lógica educativa. En productos pequeños puede implementarse con componentes sencillos; no requiere introducir microservicios innecesarios.

La selección tecnológica depende de equipo, alcance y restricciones. Kotlin permite desarrollar para Android con acceso directo al sistema; Swift ofrece una vía nativa para iOS; Flutter o React Native pueden compartir parte importante del código cuando se requiere doble plataforma. Una aplicación web progresiva puede ser suficiente para consultas y formularios simples, aunque ciertas funciones de captura, acceso sin red, rendimiento o integración con hardware necesitan validación específica. Ninguna elección es universal: interesa estimar mantenimiento, madurez de bibliotecas, accesibilidad y capacidad real del equipo para corregir errores.

La estructura de datos debe reflejar conceptos educativos. Una «actividad» puede incluir objetivo, versión de la consigna, identificador de módulo y fecha de disponibilidad. Un «registro» contiene autor seudonimizado, tipo de evidencia, valor, unidad, instante, estado y fuente. La «retroalimentación» guarda criterio, comentario, autor autorizado y versión de la respuesta. Separar esas entidades evita que un cambio de texto altere mediciones históricas o que la revisión destruya una evidencia original. También permite exportar datos con documentación suficiente para reproducir un análisis.

El almacenamiento local obliga a pensar en fallas. Cuando se guarda una medición, debe crearse una operación con identificador único; al volver la red, la sincronización transmite el cambio y recibe confirmación. Si el servidor recibe dos veces la misma operación, no debe duplicar el registro; esa propiedad se denomina idempotencia. Ante un conflicto, el sistema puede preservar versiones y solicitar revisión. Es preferible informar «tus cambios están en este dispositivo» que mostrar una marca de éxito remoto antes de recibir confirmación real.

La seguridad se construye desde los flujos. El inicio de sesión puede delegarse en un proveedor institucional, pero la app sigue necesitando controlar autorizaciones por rol. Un docente de un curso no debería revisar evidencia de otro sin permiso. Los secretos no deben quedar embebidos en la aplicación ni enviarse por mensajes de error. Los archivos deben validarse, los datos sensibles cifrarse cuando corresponda y las operaciones administrativas registrarse de forma proporcional. En entornos con menores, el inventario de datos, el consentimiento aplicable y los tiempos de conservación necesitan aprobación institucional previa.

3.3.1. Ejemplo de esquema lógico de datos

Entidad	Campos esenciales	Regla de integridad
Módulo	id, versión, objetivo, recurso	No modificar versión publicada sin trazabilidad
Actividad	id, módulo, consigna, criterio	Toda actividad se vincula a un objetivo
Registro	UUID, actividad, autor, fecha, valor, unidad	UUID único; unidad y rango validados
Evidencia	id, registro, tipo, ubicación lógica, estado	Verificar origen y conservación
Revisión	id, evidencia, criterio, comentario, fecha	Conservar historial de cambios
Sincronización	operación, dispositivo, estado, sello temporal	Repetición no crea duplicados

La captura de información geográfica, imágenes o audio se considera opcional según el diseño. El esquema no implica almacenar todos estos elementos por defecto; cada campo adicional exige una justificación de uso y de retención.

3.4. DESARROLLO INCREMENTAL, PRUEBAS Y CALIDAD PEDAGÓGICA

La construcción se organiza mejor en incrementos capaces de demostrar valor. Una primera iteración puede resolver acceso y lectura offline; la segunda, captura segura de evidencias; la tercera, revisión docente; la cuarta, sincronización y exportación. Cada incremento debe incorporar pruebas de aceptación y un escenario de uso realista. Es preferible un módulo terminado y evaluable a varios menús que conducen a pantallas incompletas. El orden de desarrollo debe reflejar riesgo técnico y pedagógico, no únicamente facilidad de programación.

La prueba unitaria verifica reglas, como rechazar un valor fuera de rango o conservar dos versiones de una respuesta. La prueba de integración examina componentes conectados: guardar, reabrir, sincronizar, revisar y exportar. La prueba de usabilidad observa si una persona entiende el flujo. La prueba pedagógica analiza si la acción realmente provoca el razonamiento buscado. Una app puede superar todos los controles técnicos y, aun así, producir aprendizaje superficial. El comité de revisión debe incluir expertos de contenido y docencia, no solo programadores.

La prueba con conectividad degradada es esencial en sistemas móviles. El equipo debe simular interrupciones durante una carga, cambios de red, cierre inesperado de la app, batería baja y sincronizaciones repetidas. También requiere explorar dispositivos con memoria limitada, modos de ahorro y accesibilidad activada. Los errores que afectan a una minoría de equipos pueden concentrarse en estudiantes con menos recursos; por eso el promedio de rendimiento oculta decisiones distributivas importantes.

La gestión de errores debe favorecer reparación. Un registro incompleto puede conservarse como borrador con campos marcados; una carga fallida debe ofrecer reintento sin exigir repetir toda la actividad; una incompatibilidad de versión debe explicar alternativas. Los mensajes técnicos internos se registran con protección adecuada, mientras el usuario recibe una instrucción comprensible. Las incidencias recurrentes permiten revisar tanto código como consignas: cuando muchos estudiantes envían la unidad equivocada, quizá el formulario explique mal la tarea.

Los registros de telemetría pueden informar sobre disponibilidad, latencia y errores, pero deben separarse de la evaluación académica. Una bitácora técnica no necesita conservar contenido de respuestas ni identidad nominal. Los tableros de aprendizaje deben presentar definiciones exactas de cada métrica y permitir lectura contextual. Antes de extraer datos para una investigación, hay que determinar finalidades, autorizaciones y riesgos de reidentificación; el hecho de que una plataforma capture eventos no crea automáticamente permiso para analizarlos con cualquier fin.

3.5. DE PROTOTIPO A SERVICIO EDUCATIVO INSTITUCIONAL

Publicar una aplicación no pone fin al proyecto. La institución debe definir quién responde ante pérdida de acceso, cambios de sistema operativo, recuperación de información, incidentes de privacidad y fallas de sincronización. Las versiones requieren un registro de cambios comprensible, ventanas de despliegue y pruebas de regresión. En periodos de evaluación académica conviene evitar actualizaciones disruptivas. También debe existir una salida de emergencia: exportar evidencias y continuar la actividad por un medio alternativo cuando el servicio no esté disponible.

El contenido académico y el código evolucionan a ritmos diferentes. Un procedimiento científico puede revisarse anualmente, mientras una dependencia técnica exige una actualización urgente. Separar contenido versionado de lógica facilita mantener ambos sin publicar toda la app por cada corrección menor. Sin embargo, un cambio conceptual sustancial de la consigna debe crear nueva versión para que evaluaciones previas sigan siendo interpretables. La trazabilidad editorial se convierte en una propiedad del software.

Los acuerdos de nivel de servicio deben ajustarse a la realidad del proyecto. Para un piloto, puede bastar una ventana de atención y una política de recuperación documentadas; para un sistema que almacena calificaciones oficiales, las exigencias serán mayores. La disponibilidad, el respaldo, la portabilidad y la eliminación de datos necesitan responsables y pruebas periódicas. Prometer «seguridad total» o «cero fallas» carece de rigor: es más útil especificar controles, riesgo residual y respuesta ante incidentes.

Una estrategia de escalamiento prudente combina prueba controlada, análisis de resultados y revisión de capacidad. El éxito con quince participantes no garantiza operación con cientos de conexiones simultáneas, docentes de distintas disciplinas o teléfonos de diferente antigüedad. Los sistemas deben observar tasa de sincronización exitosa, incidencias por modelo de dispositivo, tiempo de soporte docente y costos por estudiante atendido. Estas métricas muestran si la innovación puede sostenerse en el tiempo sin desplazar recursos de otras necesidades educativas.

3.5.1. Hoja de ruta de implementación

Etapa	Entregable técnico	Validación educativa	Decisión de avance
Descubrimiento	Mapa de flujos y restricciones	Revisión de problema y objetivos	Confirmar problema pertinente
Prototipo	Pantallas navegables	Prueba de comprensión y accesibilidad	Corregir fricciones críticas
Piloto técnico	App con datos de ensayo	Ensayo de consignas y registros	Verificar conservación e interpretación
Piloto educativo	Versión estable en clase	Desempeño, usabilidad y seguridad	Comparar alternativas de enseñanza
Operación	Soporte, respaldos y gobernanza	Seguimiento de resultados y equidad	Mantener, mejorar o retirar

Una decisión de avance responsable también contempla detener el desarrollo cuando los costos o riesgos superan el beneficio esperado. El fracaso de una hipótesis no invalida el trabajo científico; aporta conocimiento sobre condiciones de adopción.

3.6. CATÁLOGO DE PATRONES FUNCIONALES PARA APLICACIONES MÓVILES EDUCATIVAS

Las fichas siguientes proponen soluciones a problemas diferenciados de aprendizaje. No son productos instalados ni pruebas de eficacia: constituyen especificaciones reutilizables para equipos que necesitan transformar actividades en requisitos de software. Cada caso describe una acción central, un registro necesario, una decisión de accesibilidad y un criterio para comprobar valor. El catálogo no pretende imponer un único marco de desarrollo; propone preguntas técnicas que deben resolver los responsables antes de invertir en programación.

3.6.1. Cuaderno botánico de campo

Problema y oportunidad. Una salida para reconocer especies suele producir fotografías sin información suficiente para contrastar identificaciones. La aplicación debe conducir a observar rasgos diagnósticos, hábitat, estado de la planta y fecha, distinguiendo observación propia de nombres sugeridos por terceros. El estudiante justifica su clasificación mediante caracteres visibles, no mediante la mera coincidencia con una imagen encontrada en internet.

Flujo y evidencia. Cada ficha registra identificador temporal, rasgos seleccionados, imagen revisada, descripción y nivel de confianza. El sistema permite corregir la especie sin borrar la hipótesis inicial. Un buscador de claves dicotómicas puede funcionar fuera de línea con una selección local de especies de la región. El envío al docente incluye la secuencia de decisiones que fundamentó la identificación.

Validación y cuidado. Se comprueba que una persona puede guardar datos sin red y exportarlos con fuente y versión. Las coordenadas exactas no se recolectan por defecto, particularmente cuando la ubicación de especies protegidas podría ser sensible. La calidad se evalúa comparando descripciones justificadas con criterios botánicos, no contando fotografías.

3.6.2. Laboratorio de argumentación matemática

Problema y oportunidad. En la resolución de problemas, una respuesta numérica correcta puede esconder un razonamiento incompleto. Una app orientada al proceso solicita predicción, representación, procedimiento y verificación. El sistema permite fotografiar trabajo manuscrito o escribir expresiones con un editor accesible, pero no adjudica automáticamente calidad conceptual por el formato elegido.

Flujo y evidencia. La actividad presenta una situación con parámetros modificables y ofrece una cuadrícula para representar relaciones. Las revisiones se conservan como versiones vinculadas con una justificación. La retroalimentación puede detectar unidades omitidas o errores de sintaxis, mientras el profesor valora el argumento. Un modo sin animaciones permite concentrarse en los pasos de solución.

Validación y cuidado. Se contrasta si las explicaciones mejoran frente a un procedimiento tradicional con tiempo equivalente. Las respuestas deben poder exportarse en formatos legibles y no depender exclusivamente de notación gráfica. La evaluación distingue cálculo, comprensión y transferencia a otro problema.

3.6.3. Diario de lectura crítica de fuentes

Problema y oportunidad. Compartir enlaces no garantiza comprender su calidad. La aplicación puede guiar una lectura que distingue afirmaciones, evidencia, inferencias y posibles conflictos de interés. Un lector integrado conserva comentarios por fragmento y permite construir una comparación entre fuentes que sostienen perspectivas diferentes, sin reducir la tarea a elegir la «noticia verdadera» de un catálogo cerrado.

Flujo y evidencia. El estudiante marca tesis, rastrea procedencia, registra contexto de publicación y redacta una conclusión provisional. Los cambios se muestran en un historial para examinar cómo se modificó su juicio. Una herramienta de exportación genera tabla de evidencias y referencias, incluyendo la fecha de consulta cuando es necesaria.

Validación y cuidado. La prueba pedagógica utiliza textos nuevos para examinar si el alumno transfiere criterios de evaluación. Los fragmentos deben ser compatibles con lectura asistida y disponer de opción de tamaño ampliado. El sistema no debe almacenar historiales personales de navegación ajenos al ejercicio.

3.6.4. Entrenador de pronunciación con revisión humana

Problema y oportunidad. Las prácticas breves de idiomas se benefician de repetición y oportunidad de escucharse, aunque el reconocimiento automático de voz puede fallar por acento, ruido y variedad dialectal. La app organiza pares mínimos, diálogos contextualizados y autoevaluación, sin presentar una puntuación algorítmica como juicio infalible de competencia comunicativa.

Flujo y evidencia. Un alumno escucha una frase, practica, reproduce su respuesta y compara componentes prosódicos. Puede conservar solo la toma que decide compartir, o eliminar todo registro al finalizar. El docente devuelve observaciones sobre

inteligibilidad y adecuación pragmática; una transcripción automática, si existe, se etiqueta como ayuda y admite corrección.

Validación y cuidado. Se observa comprensión en conversación nueva y no el porcentaje de coincidencia con una voz estándar. Deben ofrecerse guiones escritos, volumen regulable y alternativas a grabación cuando una condición de salud o privacidad lo justifique.

3.6.5. Bitácora de prácticas de laboratorio de química

Problema y oportunidad. Una práctica científica exige documentar procedimiento, variables, incidencias y reglas de seguridad. La aplicación no sustituye el supervisor, pero puede mostrar listas de preparación, advertencias contextuales y formularios con unidades verificadas. Su valor reside en mejorar trazabilidad y reflexión sobre errores experimentales.

Flujo y evidencia. La actividad registra equipo utilizado, condiciones, medidas, incertidumbre y desviaciones respecto del protocolo. El sistema guarda un borrador local y distingue datos originales de correcciones posteriores. Un mecanismo de firma de revisión puede documentar la intervención del responsable sin atribuir automáticamente validez científica a cualquier dato ingresado.

Validación y cuidado. No debe utilizarse para aconsejar mezclas de sustancias peligrosas fuera de protocolos institucionales. Se evalúa completitud y calidad de justificaciones, además de pruebas de recuperación tras pérdida de conexión. Los avisos críticos han de permanecer accesibles sin internet.

3.6.6. Cartografía participativa de barreras urbanas

Problema y oportunidad. Para aprender accesibilidad urbana, un grupo puede documentar obstáculos en rutas de desplazamiento. La app solicita descripción funcional, tipo de barrera y propuesta de mejora, evitando recopilar imágenes identificables de personas sin necesidad. La clasificación debe partir de estándares pertinentes y observación, no de impresiones personales aisladas.

Flujo y evidencia. Los registros se organizan por sectores amplios, con opción de omitir ubicación precisa. Una revisión de pares distingue hecho observado, consecuencia probable y recomendación. El mapa complementa una lista textual navegable, de modo que personas que no pueden operar un plano interactivo participen con el mismo objetivo.

Validación y cuidado. La calidad se verifica por consistencia de criterios y utilidad de las recomendaciones. Se evita publicar rutas particulares de participantes vulnerables; cuando se comparte un informe externo, las observaciones deben estar anonimizadas y revisadas.

3.6.7. Archivo oral de memoria histórica local

Problema y oportunidad. La investigación de memoria histórica requiere escuchar testimonios sin convertirlos en fragmentos descontextualizados. Una app puede gestionar consentimientos, preguntas, metadatos y transcripciones corregibles. El estudiante aprende a diferenciar relato, documento y contextualización historiográfica, así como a reconocer los límites de cada fuente.

Flujo y evidencia. El entrevistador prepara un guion, registra autorización, anota circunstancias de la conversación y revisa una transcripción. Las citas seleccionadas se vinculan con la grabación fuente, si el consentimiento lo permite. Un módulo de interpretación solicita contrastar el testimonio con documentación independiente.

Validación y cuidado. La publicación se mantiene separada de la captura: no toda entrevista autorizada para un curso admite difusión pública. El sistema proporciona eliminación, control de acceso y exportación protegida. La evaluación se centra en ética de investigación y calidad interpretativa.

3.6.8. Simulador de decisiones de emprendimiento

Problema y oportunidad. Las hojas de cálculo permiten representar costos, pero estudiantes iniciales pueden perder de vista las relaciones entre precio, demanda y liquidez. La aplicación presenta escenarios financieros simplificados y solicita una

decisión acompañada de supuestos. No predice resultados de empresas reales ni recomienda operaciones financieras personalizadas.

Flujo y evidencia. La persona modifica un parámetro por turno, examina el cambio en flujo de caja y compara dos planes. Las tablas pueden descargarse para verificar fórmulas. El sistema registra explicación, riesgos reconocidos y revisión posterior, en lugar de asignar un premio automático al escenario de mayor ganancia.

Validación y cuidado. Se usa un caso nuevo para valorar si el estudiante reconoce restricciones y evita conclusiones basadas solo en cifras optimistas. Los ejemplos deben declarar que son didácticos, con unidades y supuestos revisables.

3.6.9. Asistente de identificación de riesgos en talleres

Problema y oportunidad. Antes de manipular maquinaria, los estudiantes necesitan reconocer peligros y procedimientos institucionales. Una aplicación móvil puede guiar inspecciones y registrar observaciones, sin sustituir capacitación, supervisión ni autorizaciones reales. Las fotografías se utilizan para documentar condiciones y deben omitir información sensible del personal.

Flujo y evidencia. Cada lista de inspección registra equipo, condición, criterio, medida preventiva y responsable de seguimiento. Las tareas no conformes se distinguen visualmente y no se pueden cerrar mediante un simple clic sin explicación de la corrección. El historial permite verificar la diferencia entre un riesgo detectado y uno realmente solucionado.

Validación y cuidado. La app no emite autorizaciones de trabajo por sí sola. El piloto necesita revisión por especialistas de seguridad y pruebas bajo procedimientos controlados. La competencia se evalúa mediante identificación razonada de peligros en escenarios no memorizados.

3.6.10. Laboratorio estadístico de muestras y sesgos

Problema y oportunidad. Interpretar una media sin comprender cómo se obtuvo la muestra puede producir decisiones débiles. La app permite formar subconjuntos, visualizar distribuciones y comparar cómo cambia una estimación con

distintas estrategias de selección. El aprendizaje se dirige al razonamiento sobre incertidumbre, no a memorizar botones de un programa estadístico.

Flujo y evidencia. Los estudiantes importan un conjunto de datos autorizado o utilizan datos públicos, definen un procedimiento de muestreo y registran su predicción antes de ejecutar cálculos. El historial conserva semilla de aleatorización cuando se usa simulación y permite reproducir resultados. Las visualizaciones disponen de tablas equivalentes.

Validación y cuidado. Un ejercicio de transferencia exige diagnosticar un sesgo en un estudio nuevo. Las bases con información personal requieren anonimización y autorización; el tutorial no debe usar nombres o documentos reales sin fundamento legítimo.

3.6.11. Tutor de estructuras de programación

Problema y oportunidad. Muchos estudiantes aprenden sintaxis sin comprender el flujo de ejecución. Una app puede visualizar estados de variables, condiciones y bucles paso a paso. Las explicaciones se limitan a un conjunto controlado de construcciones, de modo que el aprendiz vea por qué cambia un estado y no confunda la animación con un compilador universal.

Flujo y evidencia. El usuario predice la salida de un fragmento, ejecuta paso a paso y explica discrepancias. Los errores de código se presentan con localización y ejemplo mínimo, sin sustituir la búsqueda personal de una solución. El docente puede comparar estrategias y utilizar versiones anonimizadas de errores frecuentes como material de clase.

Validación y cuidado. Se evalúa la capacidad de razonar sobre un código nuevo, no solo superar los ejercicios interactivos. El contenido debe funcionar con teclado, lector de pantalla y texto seleccionable, evitando que la comprensión dependa de colores de bloques.

3.6.12. Plataforma de observación pedagógica en prácticas docentes

Problema y oportunidad. La formación del profesorado requiere observar interacciones y decisiones de aula sin reducirlas a una calificación global. Una app permite registrar eventos vinculados a criterios explícitos, redactar notas descriptivas y distinguir evidencia de juicio. Su diseño debe impedir que un registro de formación se convierta automáticamente en vigilancia laboral.

Flujo y evidencia. El practicante define un foco, como tiempo de respuesta o tipos de preguntas, y documenta ejemplos anonimizados. El tutor revisa categorías, comenta y propone una mejora. La app conserva versiones de planes docentes y permite relacionar la observación con una decisión de rediseño.

Validación y cuidado. Solo se capturan datos y grabaciones con autorizaciones pertinentes; por defecto se usan notas no identificables. El aprendizaje se evalúa por precisión de análisis y capacidad de mejorar una secuencia, no por número de registros realizados.

3.6.13. Diario de seguimiento de cultivos escolares

Problema y oportunidad. En aprendizaje agrícola, el crecimiento y la respuesta a condiciones ambientales se observan durante semanas. Una app puede conservar series de mediciones, fotografías comparables y condiciones de riego, apoyando la formulación de hipótesis. No se trata de producir recetas universales de fertilización a partir de un pequeño huerto.

Flujo y evidencia. Cada observación incluye fecha, unidad, método y notas sobre eventos no controlados. Las gráficas se construyen desde registros originales y permiten señalar valores atípicos sin eliminarlos en silencio. El estudiante plantea posibles explicaciones y compara grupos de plantas cuando el diseño experimental lo permite.

Validación y cuidado. La evaluación considera la coherencia de un informe y reconocimiento de variables de confusión. La geolocalización exacta es prescindible para huertos educativos pequeños, y la app debe evitar asociar datos con domicilios particulares.

3.6.14. Observatorio de calidad de aire en la comunidad

Problema y oportunidad. Las mediciones ambientales requieren interpretación de unidades, condiciones de captura y límites de instrumentos. La app permite registrar lecturas de sensores autorizados o conjuntos abiertos, acompañadas de contexto meteorológico y advertencia sobre calibración. No convierte automáticamente una medición de bajo costo en un diagnóstico oficial de exposición.

Flujo y evidencia. El alumnado identifica una pregunta, revisa las condiciones del sensor y compara datos a diferentes horas. El sistema conserva fuente, fecha y posibles fallas de medición. Una función de anotación promueve explicar anomalías antes de descartar valores; la visualización combina serie temporal y tabla legible.

Validación y cuidado. Un caso final solicita evaluar la calidad de un informe ambiental ajeno. No se publican perfiles de movilidad individual; cuando se utiliza ubicación, se generaliza a escala apropiada para la pregunta científica.

3.6.15. Entrenamiento en razonamiento clínico no diagnóstico

Problema y oportunidad. En formación sanitaria, los estudiantes pueden practicar organización de información y priorización de preguntas utilizando casos ficticios. Una app muestra síntomas simulados, signos y antecedentes didácticos, y exige justificar qué información adicional buscarían. No ofrece atención a pacientes reales ni sustituye supervisión profesional.

Flujo y evidencia. El caso se revela progresivamente para evitar que un único dato determine la respuesta desde el inicio. La app guarda hipótesis iniciales y revisiones, separando razonamiento de decisión clínica autorizada. El docente comenta pertinencia de preguntas, manejo de incertidumbre y reconocimiento de urgencias teóricas.

Validación y cuidado. No se usan historias clínicas identificables como material de prueba. Se evalúa desempeño en casos nuevos con criterios elaborados por especialistas, y la plataforma advierte sus límites cuando se utiliza fuera del curso.

3.6.16. Itinerario patrimonial con fuentes contrastadas

Problema y oportunidad. Las rutas culturales pueden convertirse en consumo de fotografías sin análisis histórico. Una app móvil relaciona objetos o lugares con documentos, periodos y perspectivas historiográficas. La tarea exige contrastar interpretaciones y explicar qué aspectos de una reconstrucción proceden de evidencia y cuáles son inferencias.

Flujo y evidencia. Las estaciones utilizan códigos o búsqueda manual, sin requerir geolocalización permanente. Los estudiantes anotan dos hipótesis sobre el uso de un espacio, vinculan fuentes y redactan una revisión tras consultar el contexto. La ruta funciona en modo descargado y se puede completar desde un repositorio accesible cuando viajar no sea posible.

Validación y cuidado. Se verifica comprensión en un sitio distinto y se revisa que ninguna representación presente como hecho una escena especulativa. El respeto por comunidades y testimonios forma parte del control editorial.

3.6.17. Evaluación formativa de escritura académica

Problema y oportunidad. La retroalimentación sobre textos suele llegar demasiado tarde para aprovecharla durante la redacción. Una app permite planificar argumento, consignar fuentes y revisar versiones con criterios. Los comentarios automáticos se limitan a aspectos verificables como longitud de referencia o ausencia de campo, sin atribuir calidad argumentativa mediante un puntaje opaco.

Flujo y evidencia. El estudiante mantiene un esquema, un primer borrador y una revisión que responde a observaciones específicas. Los cambios se presentan como diferencias legibles para que docente y autor discutan decisiones, no solo el producto final. La conexión intermitente no debe provocar pérdida de versiones.

Validación y cuidado. Se evalúa coherencia del argumento, integración de fuentes y revisión sustantiva. La privacidad de textos inéditos es central: ningún borrador se publica ni utiliza para entrenamiento externo sin autorización informada y base institucional apropiada.

3.6.18. Microobservatorio de astronomía escolar

Problema y oportunidad. Las escalas astronómicas y el movimiento aparente generan intuiciones equivocadas. Una app acompaña observaciones nocturnas seguras o conjuntos abiertos de datos con mapas y tablas temporales. La herramienta diferencia posición calculada, observación y representación simplificada, sin afirmar que una imagen ilustrativa es una fotografía del cielo local.

Flujo y evidencia. La persona registra fecha, orientación aproximada, condiciones de visibilidad e hipótesis sobre movimiento. Puede consultar una simulación y comparar con anotaciones sucesivas. El profesor revisa la explicación de cambios aparentes y distingue errores de registro de errores conceptuales.

Validación y cuidado. No debe inducir desplazamientos a zonas inseguras ni exigir actividades nocturnas sin supervisión. Se ofrece una alternativa con datos ya registrados y se evalúa la transferencia a configuraciones distintas de las ensayadas.

3.6.19. Gestión de un proyecto colaborativo interdisciplinar

Problema y oportunidad. Los proyectos entre disciplinas pueden perder trazabilidad: decisiones de diseño, datos de campo y criterios de evaluación se dispersan en mensajes. Una aplicación organiza objetivos, acuerdos, responsables, versiones y evidencias. El punto de partida no es contar tareas cerradas, sino hacer visible cómo se justifican y revisan decisiones colectivas.

Flujo y evidencia. Cada decisión incluye alternativas, justificación y referencias. Los miembros pueden proponer cambios que requieren aprobación según rol; el historial conserva motivos. El docente observa calidad de la coordinación y no interpreta actividad digital permanente como participación auténtica. Un resumen exportable permite continuidad aunque se abandone la plataforma.

Validación y cuidado. Las diferencias entre estudiantes con distinta disponibilidad horaria exigen flexibilidad. La evaluación combina producto, proceso y reflexión individual, evitando inferir contribución exclusivamente a partir de registros de conexión.

3.6.20. Aplicación de pensamiento espacial en geometría

Problema y oportunidad. La transformación de sólidos puede ser abstracta cuando el estudiante solo ve dibujos estáticos. Una app permite rotar, cortar y comparar cuerpos, mostrando simultáneamente datos numéricos y representaciones accesibles. El foco no es desplazar objetos por diversión sino explicar invariantes, simetrías y relaciones entre medidas.

Flujo y evidencia. Antes de ejecutar un corte, la persona predice la sección resultante; después registra un argumento y prueba una hipótesis alternativa. El sistema presenta herramientas de medición con unidades definidas y evita cambiar automáticamente de perspectiva sin indicar orientación. Las representaciones planas acompañan al modelo tridimensional.

Validación y cuidado. Se valora la transferencia a problemas nuevos sin controles interactivos. La app debe ofrecer navegación mediante teclado y descripciones de las transformaciones para quienes no pueden utilizar gestos táctiles precisos.

3.6.21. Simulador de decisiones cívicas y presupuesto público

Problema y oportunidad. La ciudadanía presupuestaria exige comprender compensaciones y restricciones, no limitarse a votar una opción. Una aplicación presenta partidas hipotéticas, necesidades documentadas y escenarios distributivos. Las cifras son didácticas y se etiquetan de forma que no puedan confundirse con presupuestos oficiales.

Flujo y evidencia. Cada estudiante distribuye recursos dentro de límites, explica criterios y observa consecuencias modeladas. Un intercambio de argumentos obliga a responder perspectivas de grupos afectados. El sistema muestra reglas de cálculo transparentes y permite exportar la comparación sin perfiles políticos personales.

Validación y cuidado. La evaluación considera análisis de consecuencias y reconocimiento de tensiones. Los ejemplos deben evitar sesgos partidarios y distinguir claramente hechos, preferencias y supuestos de simulación.

3.6.22. Diario de creación artística multimodal

Problema y oportunidad. En educación artística, el producto final suele ocultar exploración, experimentos y revisiones. Una app puede reunir bocetos, audio, notas y referencias autorizadas para documentar procesos creativos. La interfaz no impone una plantilla estética única; ofrece estructura mínima para explicar elecciones, influencias y cambios.

Flujo y evidencia. El estudiante organiza materiales por etapas y selecciona voluntariamente qué compartir. Cada revisión incluye una reflexión sobre intención, técnica y efecto. El docente puede comentar decisiones sin apropiarse del proceso, y la exportación conserva atribuciones a obras de referencia.

Validación y cuidado. Se evalúa calidad de argumentación sobre la obra y capacidad de revisión, no número de archivos subidos. La gestión de derechos de autor, licencias y privacidad de trabajos inéditos exige controles visibles.

3.6.23. Apoyo a transición universitaria y autorregulación

Problema y oportunidad. El ingreso a estudios superiores exige planificar actividades y reconocer estrategias de aprendizaje. Una app puede facilitar metas semanales, planificación de tiempo y revisión de métodos utilizados, sin convertir los hábitos personales en indicadores punitivos. La información requiere un tratamiento especialmente prudente por su carácter contextual.

Flujo y evidencia. El alumno define un propósito, estima tiempo, registra su estrategia y reflexiona sobre el resultado. Las notificaciones son opcionales y limitadas; el sistema admite reprogramar sin castigos visuales. Los docentes reciben únicamente información agregada o voluntariamente compartida según la política de la institución.

Validación y cuidado. El éxito no se mide por días consecutivos de uso, sino por autonomía en planificación y capacidad de ajustar estrategias. Los datos personales no deben utilizarse para inferir salud o disciplina individual.

3.6.24. Formación sobre protección de datos y ciudadanía digital

Problema y oportunidad. Los conceptos de privacidad se aprenden mejor cuando el estudiante examina decisiones concretas de permiso, retención y divulgación. La app presenta escenarios ficticios de instalación, consentimiento y compartición, y solicita justificar riesgos. Ninguna tarea requiere entregar contraseñas, documentos personales o registros privados verdaderos.

Flujo y evidencia. Ante cada situación se muestran funciones, datos solicitados y consecuencias plausibles. El alumno compara una opción de recolección mínima con otra más invasiva, identifica propósito legítimo y propone controles. Un historial de decisiones permite revisar la propia interpretación después de la discusión colectiva.

Validación y cuidado. Un caso nuevo evalúa si el aprendizaje se transfiere a un servicio desconocido. La plataforma debe ser coherente con lo que enseña: telemetría mínima, permisos transparentes y eliminación sencilla de registros.

3.7. LABORATORIO DE ESPECIFICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA APP EDUCATIVA

3.7.1. Contrato pedagógico y definición de estados

Antes de escribir código conviene formalizar el contrato de la actividad: quién puede realizarla, cuándo se considera iniciada, qué evidencia acepta y en qué condición está completada. Una secuencia de observación puede pasar por los estados «no iniciada», «borrador», «lista para revisar», «entregada», «observada por docente» y «revisada». Las transiciones no son simples colores en una pantalla. Determinan si puede editarse un registro, quién ve el contenido y qué versión sirve para la calificación. Documentarlas evita errores que aparecen cuando el equipo interpreta de manera distinta la palabra «entregado».

Un diagrama de estados debe identificar transiciones válidas y mensajes que explican una decisión rechazada. Si un docente devuelve una evidencia, el sistema no debe convertirla silenciosamente en borrador anónimo; necesita preservar referencia a la revisión anterior. Si un alumno presiona «enviar» sin conexión, el estado correcto puede ser «envío pendiente» y no «entregado». Un registro técnico confirma la solicitud al

servidor y el usuario recibe una confirmación inequívoca. Esta distinción hace posible diseñar evaluación justa bajo conectividad imperfecta.

Las reglas deberían probarse con escenarios adversos. Un estudiante intenta completar una actividad vencida; otro abre una versión que fue actualizada; un docente comenta una entrega que se está revisando; dos dispositivos modifican el mismo borrador. La respuesta del sistema debe definirse antes de programarse: bloquear con explicación, conservar ambas versiones o exigir resolución manual. Una decisión improvisada por el desarrollador puede alterar procedimientos de evaluación sin conocimiento de la institución.

Transición	Condición permitida	Persistencia obligatoria	Mensaje visible
Borrador → Pendiente	El estudiante solicita entrega	Operación local única	«Se enviará cuando haya conexión»
Pendiente → Entregada	Servidor confirma recepción	Identificador y sello de recepción	«Entrega confirmada»
Entregada → Observada	Docente registra revisión	Rúbrica y versión comentada	«Hay observaciones disponibles»
Observada → Revisada	Estudiante envía corrección	Nueva versión vinculada	«Revisión registrada»
Cualquier estado → Recuperación	Falla o incompatibilidad	Copia local, bitácora y soporte	Instrucción de recuperación

3.7.2. Modelo de dominio y diseño de interfaces entre servicios

Un modelo de dominio bien construido es una descripción de conceptos y reglas, no una colección de pantallas. «Actividad», «evidencia», «rúbrica», «revisión», «permiso» y «versión» deben tener definiciones estables. Una evidencia puede contener varios archivos, pero su identidad académica no debería depender del nombre de un archivo. La actividad está asociada a un objetivo curricular y a un periodo; el permiso determina quién puede leer o modificar; la revisión referencia la versión evaluada. Cuando estas relaciones se aclaran, la base de datos y la API pueden evolucionar sin alterar el significado pedagógico.

El diseño de una interfaz de programación debe incluir contratos de entrada y salida, reglas de autorización, códigos de error e idempotencia. Un servicio que recibe

una observación no puede confiar únicamente en que la app validó unidades; debe verificarla nuevamente. Cuando una operación se repite después de un corte de red, el servidor devuelve el mismo resultado lógico en lugar de crear un segundo registro. Un error recuperable se distingue de uno que requiere corregir datos. Las respuestas no deben revelar información de cuentas ajenas.

Los identificadores de usuario se mantienen separados de los datos académicos cuando la finalidad lo permite. Un código de sesión no debe incorporar nombre, DNI ni correo. Para exportar una investigación, puede generarse un conjunto seudonimizado cuyo vínculo con identidades se almacene bajo controles diferenciados. El borrado autorizado debe considerar copias de seguridad y versiones; prometer eliminación instantánea de todos los respaldos sin una política real sería engañoso.

3.7.3. Persistencia local y sincronización tolerante a fallos

Una app offline necesita más que una pantalla almacenada en caché. Debe conservar acciones, conflictos, versiones y confirmaciones. Un patrón útil es una cola de operaciones: cada cambio se registra primero en almacenamiento local, recibe un identificador único y se marca como pendiente; el proceso de sincronización intenta transmitirlo cuando existen condiciones adecuadas, comprueba la respuesta y actualiza el estado. Esta secuencia puede continuar tras reiniciar la aplicación si el almacenamiento es persistente.

Los conflictos requieren políticas explícitas. «Gana el último cambio» puede resultar aceptable para una preferencia visual, pero es riesgoso cuando dos personas editan una medición científica. En ese caso conviene conservar ambas versiones y solicitar revisión o aplicar reglas de fusión limitadas a campos independientes. Cada operación incluye versión base; si el servidor advierte que cambió, responde un conflicto identificable. El usuario debe saber qué información se conservará y qué acción puede resolver la diferencia.

Una prueba de sincronización reproduce fallas concretas: duplicación de un mensaje, recepción tardía de una confirmación, falta de espacio local, cambio brusco de hora del equipo, pérdida de permisos y retorno de red después de horas. La app conserva una fecha de captura separada de la fecha de recepción; también debe

identificar el origen del dato para evitar interpretar el sello del servidor como momento de observación. La zona horaria se maneja de manera consistente y se expresa en la interfaz según el contexto educativo.

3.7.4. Diseñar formularios que enseñen prácticas científicas

Un formulario de laboratorio debe ayudar a registrar un fenómeno sin imponer una interpretación prematura. Conviene separar medida observada, unidad, instrumento, método y comentario. El valor faltante no se codifica como cero: son condiciones distintas y afectan análisis. Las unidades disponibles dependen de la variable; permitir introducir cualquier texto sin validación puede contaminar una base, pero bloquear toda corrección también puede dificultar documentación de incidentes. La solución incluye validaciones y un campo de observaciones.

Los formularios pueden incorporar ayudas que enseñen buenas prácticas: ejemplos de cifras significativas, advertencias sobre unidades incompatibles, recordatorio de calibración y comparación con rangos plausibles. Un valor improbable no se elimina automáticamente, porque podría indicar un evento real; se señala y solicita verificación. Esa lógica encarna un principio científico: preservar evidencia original y documentar decisiones de limpieza, en lugar de modificar registros para que encajen en expectativas.

La accesibilidad requiere orden lógico de lectura, etiquetas persistentes y notificación verbal o textual de errores. Las indicaciones de obligatoriedad no pueden expresarse solo mediante color. Cuando el estudiante corrige un campo, el foco debe regresar al lugar esperado y no saltar al inicio del formulario. La prueba se realiza con lector de pantalla y navegación por teclado cuando el sistema los soporte.

3.7.5. Diseñar feedback con explicación y oportunidad de revisión

La retroalimentación útil describe la discrepancia entre un criterio y el trabajo presentado, y ofrece una acción que el estudiante puede realizar. «Incorrecto» informa poco; «el argumento compara dos escenas, pero no identifica qué variable permaneció constante» conecta con un criterio verificable. El sistema puede entregar mensajes basados en reglas, como unidades faltantes o respuestas vacías, mientras el juicio sobre

relaciones causales complejas se mantiene a cargo de una revisión humana salvo validación específica de un mecanismo automático.

Una interfaz de feedback debe conservar contexto. El comentario se vincula a la evidencia revisada; la respuesta del estudiante puede citarlo y explicar cómo lo atendió. Las revisiones no sustituyen la versión anterior, porque el proceso de cambio es un producto pedagógico. Para evitar una carga imposible al docente, las rúbricas permiten reutilizar criterios sin impedir comentarios personalizados. Los informes agregados pueden mostrar errores frecuentes de consigna sin revelar identidades cuando no es necesario.

3.7.6. Interoperabilidad con entornos virtuales de aprendizaje

Una app institucional raramente opera sola. Puede necesitar acceder a un curso, identificar grupos, recibir una actividad o devolver una calificación al entorno virtual de aprendizaje. La integración debe diseñarse con permisos mínimos y responsabilidades claras. Resulta prudente distinguir sincronización de identidad, intercambio de recursos y transmisión de resultados; son funciones distintas y no necesariamente requieren el mismo mecanismo técnico.

El equipo debe investigar los estándares y las API que ofrece el entorno concreto antes de prometer compatibilidad. Cuando se utilicen esquemas de eventos de aprendizaje o lanzamientos externos, sus perfiles deben documentar semántica, consentimiento y límites. No conviene transmitir registros corporales de XR o datos granulares de comportamiento porque una plataforma soporte campos adicionales. La interoperabilidad no autoriza recoger todo lo técnicamente posible.

Una prueba de integración incluye cambio de matrícula, retiro de un estudiante, revocación de acceso, duplicación de calificación y modificación de curso. Las políticas deben precisar qué sistema conserva la nota oficial y qué ocurre si un registro se corrige. Si las plataformas se desconectan, los docentes necesitan un procedimiento de exportación y conciliación que no exponga contraseñas ni bases completas.

3.7.7. Observabilidad, métricas y límites de la analítica

La operación técnica requiere conocer si el servicio responde, si existen fallas de sincronización y qué versiones concentran errores. Estas señales no equivalen a perfiles educativos. Una tasa de éxito de envío informa sobre calidad de la infraestructura; no determina la motivación individual. Separar tableros operativos de tableros académicos reduce interpretaciones abusivas y facilita que cada área trabaje con datos pertinentes.

En analítica formativa es recomendable definir las métricas desde el objetivo: proporción de argumentos que incluyen evidencia, número de revisiones sustantivas o frecuencia de unidades corregidas pueden ser interpretables si se aplican con cuidado. Su cálculo debe basarse en criterios transparentes y muestreos adecuados. Un «índice de compromiso» derivado de gestos, duración de conexión y pulsaciones sería difícil de validar; no debería influir en la calificación ni en decisiones sensibles sin evidencia sólida y supervisión.

Los registros también tienen costos de seguridad y almacenamiento. Una política de retención limita el horizonte temporal, restringe accesos y diferencia datos agregados de trazas individuales. Las consultas de investigación se autorizan separadamente y deben poder reconstruirse con diccionario de variables y versiones de algoritmo. Los paneles deben explicar con claridad cuándo una cifra corresponde a sesiones, estudiantes, entregas o eventos, porque mezclar denominadores produce conclusiones falsas.

3.7.8. Plan de pruebas reproducibles para un piloto

Una batería de pruebas se organiza por historias de usuario y riesgos críticos. Cada caso registra estado inicial, acción, resultado esperado, resultado obtenido, dispositivo, versión y evidencia. Por ejemplo, «guardar una observación y cerrar la app sin red» tiene éxito cuando el registro reaparece íntegro y marcado como local; «enviar dos veces con el mismo identificador» tiene éxito cuando el servidor conserva una sola operación; «abrir un registro sin permiso» tiene éxito cuando se deniega y se audita la acción apropiada.

Las pruebas de aceptación pedagógica usan consignas auténticas y personas que no participaron en el desarrollo. El observador no explica botones durante la tarea, salvo por seguridad, y registra dónde se produjo confusión. Los errores se priorizan según impacto: pérdida de evidencia y exposición de información requieren corrección inmediata; una transición estética imperfecta puede corregirse más adelante. La clasificación evita que una demostración visual satisfactoria eclipse riesgos importantes.

La siguiente matriz permite asignar responsables distintos a pruebas complementarias.

Prueba	Riesgo examinado	Responsable sugerido	Condición de aprobación
Recuperación offline	Pérdida de trabajo	Equipo de software	Evidencia íntegra después de reinicio
Autorización	Acceso indebido	Seguridad y producto	Roles respetados en casos adversos
Rúbrica	Desalineamiento	Docente y experto de contenido	Criterios observables y consistentes
Accesibilidad	Barreras de interacción	Especialista y usuarios	Tareas completables por vías alternativas
Exportación	Dependencia de plataforma	Equipo de datos	Formatos legibles y diccionario completo
Escalamiento	Saturación de servicio	Operaciones	Rendimiento dentro de umbrales definidos

3.7.9. Despliegue, mantenimiento y reversibilidad

Un lanzamiento educativo requiere un calendario distinto al de una app de entretenimiento. No conviene cambiar un procedimiento evaluado a mitad de una actividad sin comunicarlo. La institución puede definir ventanas de actualización, pruebas con un grupo de control técnico y capacidad de volver a la versión anterior. Las migraciones de base de datos se ensayan con copias anonimizadas y se respaldan antes de ejecutarse en producción.

La reversibilidad abarca datos y pedagogía. Si la app falla durante un curso, el docente debe disponer de formularios alternativos y un mecanismo de incorporar después la evidencia sin castigar a estudiantes. Si el proveedor cambia condiciones o elimina una función, la institución necesita exportar contenidos, calificaciones y

comentarios con su contexto. Conservar código fuente y documentación no basta cuando los activos de diseño o las reglas de evaluación están encerrados en una plataforma.

3.7.10. Revisión ética final de una aplicación móvil

La evaluación ética examina proporcionalidad de datos, transparencia, autonomía, impacto distributivo y vías de reparación. Una app de bienestar académico puede recoger información muy distinta de un cuaderno de campo; no debe copiar los mismos permisos por conveniencia de desarrollo. Las decisiones se documentan mediante inventario de campos, necesidad pedagógica, destinatarios, conservación y riesgo de uso secundario. Los estudiantes reciben información comprensible sobre lo que se recoge y lo que no.

El diseño responsable permite solicitar soporte, corregir un registro, impugnar un error de evaluación y obtener alternativas de acceso. También debería eliminar dependencias no necesarias, como perfiles comerciales o suscripciones personales para completar un curso. Una revisión conjunta de docentes, estudiantes, protección de datos y equipos de software puede identificar riesgos que cada grupo aisladamente pasaría por alto. Ningún proceso de validación reemplaza el seguimiento durante la operación: la ética de un sistema también se expresa en cómo responde cuando se equivoca.

3.8. CATÁLOGO DE PRUEBAS ADVERSAS Y RECUPERACIÓN PARA SOFTWARE EDUCATIVO

La madurez de una aplicación se observa especialmente cuando las condiciones se alejan de la demostración ideal. Las pruebas siguientes proponen fallas y respuestas esperadas en actividades móviles de enseñanza. Se redactan como escenarios de aceptación que pueden adaptarse a diferentes lenguajes, bases de datos y proveedores. El objetivo es conservar integridad de evidencia y derechos de estudiantes, no producir una lista de funciones decorativas.

3.8.1. Cierre inesperado durante una observación

Un estudiante ha escrito una explicación extensa, pero el sistema operativo cierra la app para recuperar memoria. Al regresar, el borrador debe conservar lo que el

diseño prometió guardar y explicar con precisión cualquier cambio no persistido. Se requiere probar intervalos de autoguardado, escritura atómica y recuperación de fallas. El procedimiento de ensayo puede simular una terminación abrupta después de diferentes campos, en lugar de cerrar la aplicación solo mediante su botón normal.

La evidencia de aceptación incluye registro recuperado, estado correcto y ausencia de duplicación. Una interfaz que indica «guardado» antes de completar la operación puede generar una falsa sensación de seguridad. La revisión pedagógica examina también si el estudiante puede continuar sin rehacer una actividad de campo irrepetible.

3.8.2. Red inestable durante el envío final

La conexión se interrumpe después de que el servidor recibió el archivo, pero antes de enviar confirmación. El cliente reintenta con el mismo identificador de operación. El resultado aceptable es una sola entrega, con posibilidad de conocer si fue recibida y cuándo. La idempotencia debe comprobarse a nivel servidor, porque un botón deshabilitado en la interfaz no protege frente a mensajes duplicados en la red.

El docente necesita interpretar el estado académico y el estudiante, una confirmación comprensible. El ensayo verifica que no aparecen dos calificaciones para la misma operación y que el sistema puede recuperar la confirmación anterior. La falta de red nunca debería convertirse silenciosamente en entrega exitosa.

3.8.3. Cambio de hora del teléfono

La configuración horaria del dispositivo se modifica durante una salida de campo. El sistema conserva la hora local de captura y una referencia temporal consistente para sincronización, con información suficiente para reconstruir secuencias. No debe asumir que el reloj del teléfono constituye una fuente infalible ni modificar retroactivamente observaciones sin registrar la transformación.

La prueba combina cambios de zona horaria, ajustes manuales y recepción tardía. La evaluación de datos distingue hora declarada de observación y hora de llegada al servidor. Esta diferencia puede ser crucial cuando se comparan series temporales o se aplica un plazo académico.

3.8.4. Dos equipos editan el mismo registro

Una misma cuenta autorizada modifica un borrador en teléfono y computadora. Las operaciones llegan en orden inverso y una contiene información que no aparece en la otra. La app no debería decidir sin explicación que la última recibida elimina la primera. Un diseño de preservación de versiones presenta el conflicto, identifica campos distintos y permite una resolución consciente.

La prueba verifica que los datos originales pueden recuperarse y que queda registro de la decisión. Cuando la política permita fusiones automáticas, estas se restringen a campos que no producen contradicción. El sistema no debe combinar arbitrariamente observaciones científicas incompatibles.

3.8.5. Archivo demasiado grande para el dispositivo

El estudiante intenta adjuntar varias fotografías en alta resolución y el almacenamiento local es insuficiente. La app debe conservar datos ya ingresados, explicar el límite y ofrecer alternativas, como comprimir con información adecuada o adjuntar solo una imagen relevante. No debería eliminar registros previos para hacer espacio sin autorización.

El ensayo se ejecuta con memoria casi llena y condiciones de poca conectividad. La interfaz informa qué archivos se han guardado y cuáles permanecen pendientes. La revisión pedagógica considera si la actividad necesita realmente imágenes de esa resolución y si una descripción textual cumple el mismo objetivo.

3.8.6. Permiso de cámara rechazado

La persona no concede acceso a cámara. La aplicación debe continuar con las funciones que no requieren ese permiso y explicar opciones equivalentes para evidencias. Solicitar repetidamente acceso sin contexto puede generar presión e impedir participación. La prueba verifica que el rechazo no bloquea todo el curso ni se interpreta como incumplimiento académico.

Cuando una fotografía es indispensable, la institución debe proporcionar una modalidad autorizada alternativa. El sistema solicita permisos en el momento de

necesidad y no al inicio por comodidad del desarrollador. Se documenta qué dato se procesa y para qué finalidad.

3.8.7. Cambio de matrícula y permisos

Un estudiante se retira de una asignatura después de haber producido evidencias. La aplicación debe aplicar políticas institucionales de acceso y retención sin borrar precipitadamente registros oficiales ni mantener permisos injustificados. La prueba revisa qué puede consultar el docente, qué puede exportar la persona y qué operaciones deben quedar bloqueadas.

Las reglas varían según el contexto legal y académico. Por eso se diseñan como política configurable y auditada, no como decisión improvisada en el cliente móvil. Las respuestas del servidor no exponen datos de estudiantes de otros cursos.

3.8.8. Actividad actualizada durante la ejecución

Un docente corrige una consigna cuando algunos estudiantes ya la completaron. La app debe distinguir versiones y ofrecer una política visible de equivalencia: conservar entregas previas, solicitar revisión o publicar una nueva actividad. No conviene sobrescribir la consigna antigua en registros históricos, porque dificultaría comprender qué tarea resolvió cada persona.

La prueba crea dos cohortes de ensayo con versiones diferentes y verifica que sus evidencias se exportan con el identificador pertinente. Una comparación de resultados necesita considerar cambios de dificultad y criterios. La calidad editorial forma parte de la integridad del software.

3.8.9. Lectura asistida con cambio de tamaño de fuente

Una persona amplía considerablemente la tipografía del sistema. El formulario debe seguir siendo navegable, sin ocultar confirmaciones o campos importantes. El ensayo examina reflujo, orden de lectura, desplazamiento, foco y mensajes de error, además de la posibilidad de completar la tarea con tecnologías de asistencia pertinentes.

La revisión no se limita a que el texto permanezca visible en una captura. Debe comprobar que una persona pueda comprender, corregir y enviar datos de forma

autónoma. La app puede ofrecer una visualización tabular alternativa cuando un gráfico no sea suficiente.

3.8.10. Restauración de copia de seguridad

El equipo de operaciones restaura datos de un entorno de ensayo a partir de un respaldo. El sistema debe conservar relaciones entre actividades, evidencias, versiones y comentarios, además de controlar acceso después de la restauración. Los respaldos que no se prueban pueden producir una falsa expectativa de recuperación.

La evaluación incluye un punto de recuperación definido, comprobación de integridad y documentación de registros que no pudieron restablecerse. La institución decide cómo comunicar cualquier pérdida académica y qué mecanismos alternativos aplicar. La recuperación técnica y la justicia evaluativa deben planificarse conjuntamente.

3.8.11. Exportación a un formato abierto

Una asignatura cambia de plataforma y solicita transferir todas sus evidencias pertinentes. La exportación debe incluir datos, unidades, versiones, enlaces lógicos a archivos y un diccionario comprensible. Un conjunto de números sin contexto puede ser técnicamente descargable y científicamente inútil. La prueba abre los archivos con herramientas independientes y reconstruye una actividad completa.

Los documentos personales se separan según permisos y finalidad. El proceso debe permitir exportaciones minimizadas para investigación, mientras los registros oficiales conservan identidad cuando está justificado. La institución necesita conocer también cómo se elimina la información del servicio antiguo.

3.8.12. Retirada de una biblioteca o servicio externo

Una dependencia deja de recibir soporte y la app pierde una función de captura o autenticación. La arquitectura debe facilitar sustitución mediante adaptadores y contratos claros, sin exigir reescribir todas las actividades. La prueba de contingencia verifica qué parte sigue operando sin el servicio y cómo se informa la limitación.

Mantener un inventario de dependencias permite anticipar riesgos. Si una función crítica solo existe en un proveedor, ese hecho debe reflejarse en la decisión institucional y en el presupuesto. La enseñanza requiere una ruta alternativa que evite cancelar evaluaciones por cambios comerciales fuera del control docente.

3.8.13. Detección de contenido no autorizado

Un archivo adjunto contiene datos de terceros o material que no corresponde a la finalidad de la actividad. La plataforma puede ofrecer revisión previa, advertencias sobre publicación y mecanismos de retirada, sin pretender resolver automáticamente todas las cuestiones de privacidad y derechos. Los permisos distinguen entrega privada al docente de difusión al grupo.

La prueba comprueba que una entrega no se vuelve pública por defecto. El estudiante entiende quién puede verla y dispone de una oportunidad de corregir antes de compartir. La supervisión humana es necesaria cuando existen conflictos complejos sobre autoría o consentimiento.

3.8.14. Error de una regla de puntuación

Una actualización modifica accidentalmente el cálculo de una rúbrica. El sistema debe detectar diferencias mediante pruebas automatizadas con ejemplos ancla y permitir reconstruir qué versión se utilizó en evaluaciones anteriores. Si un error llega a producción, la institución define un proceso transparente de revisión y comunicación a estudiantes.

No es suficiente corregir el número en el panel. Se necesita preservar criterios, justificaciones y trazabilidad para que la decisión académica sea revisable. Los resultados computacionales merecen la misma auditoría conceptual que una calificación manual.

3.8.15. Prueba de accesibilidad con conectividad cero

Una aplicación puede funcionar offline para un usuario promedio y perder funciones de accesibilidad porque dependen de recursos remotos. La prueba descarga contenidos, desconecta completamente el equipo y revisa lector de pantalla,

transcripciones locales, ayudas y navegación alternativa. Si una prestación no está disponible sin red, debe declararse y proveerse una ruta equivalente.

La evaluación analiza si el estudiante completa la misma competencia, no solo si la app abre. Esta prueba combina dos dimensiones que a menudo se revisan por separado: infraestructura y accesibilidad. Su resultado puede revelar exclusión concentrada en estudiantes con mayores barreras de acceso.

3.8.16. Reconciliación entre actividad y libro de calificaciones

Una entrega se revisa en la app y su resultado se envía al entorno de gestión académica. El canal falla después de una transmisión parcial. La operación debe poder repetirse sin crear notas duplicadas ni reemplazar una revisión más reciente por otra antigua. La autoridad sobre la calificación oficial se define en el contrato de integración.

El docente dispone de un informe de discrepancias y puede corregir mediante un procedimiento autorizado. El estudiante no debería recibir dos mensajes contradictorios sobre la misma evaluación. La prueba incluye retiro de matrícula, cambio de grupo y rectificación posterior de una nota.

3.8.17. Multilingüismo y contenido versionado

Una actualización de traducción cambia el significado de una consigna técnica. El producto conserva versiones por idioma y somete vocabulario científico a revisión, en lugar de aceptar automáticamente toda traducción. Una misma prueba no es comparable si las instrucciones ofrecen pistas distintas según lengua. El equipo registra quién validó cada versión y en qué fecha.

La interfaz admite glosarios contextualizados y explica abreviaturas. La evaluación de traducción examina comprensión de tareas con usuarios reales. La internacionalización no consiste únicamente en sustituir cadenas de texto dentro del código.

3.8.18. Salida ética ante retirada del servicio

Un curso deja de utilizar la aplicación por costos o riesgos. La institución solicita exportación de contenidos y evidencias, revocación de accesos, eliminación

según política y archivo de versiones necesarias para atender revisiones académicas. El proceso debe proteger datos y preservar derechos de estudiantes, aunque el proveedor ya no tenga interés en el proyecto.

La prueba de salida demuestra que una actividad puede reconstruirse fuera del servicio. Documentar el fin de una plataforma es tan importante como planificar su lanzamiento: la continuidad pedagógica no debería depender del entusiasmo por una herramienta particular.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE EXPERIENCIAS INMERSIVAS CON GAFAS META QUEST

4.1. DEL OBJETIVO CURRICULAR A LA ESCENA ESPACIAL

La decisión de desarrollar para Meta Quest debe comenzar por una propiedad del fenómeno que se quiere enseñar. Una molécula tridimensional puede requerir rotación y análisis de enlaces; una obra arquitectónica puede exigir percepción de escala; un procedimiento de laboratorio puede beneficiarse de una práctica segura antes de utilizar equipamiento real. Para justificar la inmersión es necesario describir qué relaciones son difíciles de aprender mediante representaciones convencionales y qué conducta concreta permitirá observar una escena XR. La presencia visual sin una tarea verificable no constituye, por sí misma, una intervención formativa.

La escena educativa combina entorno, objetos, reglas, tareas y retroalimentación. El entorno sitúa al aprendiz; los objetos representan entidades del dominio; las reglas determinan cómo responden las entidades; las tareas establecen decisiones relevantes; la retroalimentación permite interpretar consecuencias. Una simulación de cuenca podría contener una elevación, zonas de infiltración, cauces y fuentes de contaminación. El usuario no se limita a mirar: selecciona una hipótesis, modifica una variable y observa un resultado que después explica fuera del visor. Los objetos visuales deben corresponder a conceptos científicos identificados en el currículo.

La fidelidad requiere una noción matizada. En ciertos casos importa la geometría exacta, como la orientación de una pieza industrial; en otros importa la lógica causal, aunque el espacio sea esquemático. Un modelo puede representar el recorrido general del agua sin reproducir cada irregularidad del terreno. Presentar un nivel de detalle no disponible en los datos de origen crea falsa precisión. Por eso la experiencia debe distinguir observaciones, aproximaciones y variables simuladas, y ofrecer información

acerca de los límites del modelo. Cuando se utiliza un elemento simbólico, como color intenso para señalar concentración de contaminantes, la interfaz debe declarar que es una codificación didáctica y no una apariencia física del agua.

El guion de interacción puede redactarse como una cadena «acción—respuesta—interpretación». Por ejemplo: seleccionar una fuente de vertimiento; visualizar su trayectoria bajo un caudal determinado; registrar una predicción; comparar con el resultado; justificar qué información adicional se necesita. El guion evita crear escenas técnicamente impresionantes pero pedagógicamente vacías. Cada evento evaluable debería conectarse con una dimensión de competencia y, cuando se registren datos, con una finalidad explícita y proporcional.

4.1.1. Documento de diseño de experiencia

Elemento	Especificación mínima	Pregunta de revisión
Competencia	Acción cognitiva observable	¿Qué desempeño se podrá justificar?
Espacio	Escena, escala y orientación	¿El entorno aporta información necesaria?
Objeto	Representación y propiedades	¿Qué relaciones científicas conserva?
Interacción	Agarrar, seleccionar, señalar o navegar	¿Existen modos alternativos?
Consecuencia	Cambio visible y explicable	¿La respuesta corresponde al modelo declarado?
Evidencia	Decisión, anotación o explicación	¿Se registra solo lo necesario?
Cierre	Reflexión y transferencia	¿Se conecta la experiencia con el mundo real?

4.2. ECOSISTEMA TÉCNICO META QUEST, UNITY, OPENXR Y WEBXR

Los visores Meta Quest utilizan Meta Horizon OS y admiten distintas rutas de desarrollo. La documentación oficial identifica Unity para experiencias inmersivas, Unreal Engine para proyectos de alta complejidad visual, desarrollo nativo basado en OpenXR, aplicaciones Android y experiencias WebXR. Cada ruta tiene consecuencias técnicas y formativas. Un equipo universitario con experiencia web puede optar por una

escena WebXR relativamente accesible; un laboratorio que necesita manipulación avanzada y seguimiento de manos puede preferir Unity con componentes Meta XR. La selección debe documentar las capacidades requeridas y el costo de mantener la solución.

Para proyectos nuevos con Unity, la guía de Meta actualizada en octubre de 2026 recomienda el proveedor OpenXR y advierte que el antiguo Oculus XR Plugin se encuentra obsoleto. La instalación requiere módulos adecuados de Android, configuración del perfil de Meta Quest, activación de OpenXR y selección de componentes de SDK correspondientes. Estos pasos son sensibles a la versión y no deben reproducirse mecánicamente cuando cambie la documentación. La regla de gestión es registrar versión de Unity, paquetes, dependencias, dispositivos utilizados y resultados de pruebas de compilación.

El Interaction SDK permite construir acciones como agarrar, pulsar, señalar con rayos y desplazarse mediante controles o manos. El seguimiento manual puede aumentar naturalidad, pero también introduce condiciones de iluminación, precisión y esfuerzo físico. Una tarea que exige seleccionar una válvula puede ofrecer simultáneamente interacción por controlador y por mano; el sistema debe conservar la misma consecuencia científica en ambos casos. Meta ha continuado la evolución de componentes compatibles con OpenXR, lo que hace aconsejable revisar dependencias en cada actualización (Meta, 2026c).

La realidad mixta depende de prestaciones adicionales. *Passthrough* muestra una representación de cámaras del entorno físico; la comprensión de escena y los anclajes permiten situar contenido en relación con superficies o posiciones estables. Un objeto virtual podría colocarse sobre una mesa para representar una cuenca en miniatura y rotarse alrededor de ella. La documentación de Meta explica que los anclajes pueden crearse, guardarse, cargarse, eliminarse y compartirse; esa persistencia supone permisos y límites que deben examinarse según dispositivo y versión. El hecho de poder mapear un espacio no implica que sea necesario conservar su representación, y la opción menos intrusiva suele ser preferible.

WebXR merece atención cuando se busca reducir barreras de distribución. Según la documentación de Meta publicada en 2026, una página web compatible puede iniciar una sesión inmersiva desde un navegador; se recomienda detectar capacidades durante la ejecución y no deducir soporte únicamente a partir de la marca del dispositivo. La especificación WebXR del W3C seguía en etapa de borrador de Recomendación Candidata en noviembre de 2026. Su alcance y las extensiones disponibles pueden variar. Para una institución, esto exige pruebas reales y una alternativa no inmersiva cuando el navegador no exponga una función.

4.2.1. Arquitectura modular sugerida

Un proyecto XR educativo puede organizarse en cinco módulos: presentación de tareas, simulación del dominio, interacción espacial, registro de evidencias y configuración de accesibilidad. La simulación debe poder probarse sin el visor mediante entradas reproducibles. El sistema de interacción traduce gestos en comandos de dominio y no debería contener cálculos científicos dispersos. Un mismo evento «cambiar pendiente» puede activarse por control virtual, teclado o acción manual, pero producir idéntica actualización del modelo. Esta separación facilita depurar discrepancias y crear alternativas de acceso.

Las experiencias conectadas con una app móvil requieren un contrato de datos. Conviene especificar identificadores, unidades, rango de valores, versión de modelo y reglas de sincronización. Si una predicción se formula en el móvil y se consulta en Quest, la escena debe indicar si recibió la última versión, evitando una interpretación basada en datos desactualizados. La interoperabilidad no consiste solo en enviar JSON: requiere preservar significado y trazabilidad entre medios diferentes.

4.3. INTERACCIÓN, LOCOMOCIÓN Y CONFORT

La ergonomía espacial determina si el estudiante puede concentrarse. Los elementos principales deben ocupar áreas de visión cómodas; el texto tiene que ser suficientemente grande y estable; la información importante no debe quedar detrás de objetos sin indicación. Un tablero flotante que sigue constantemente la cabeza puede resultar molesto y bloquear la escena. Conviene que los paneles permanezcan anclados

cuando el usuario los está leyendo y que la orientación pueda recuperarse con una acción sencilla.

Existen varias modalidades de locomoción: desplazamiento físico en el espacio disponible, teletransporte, movimiento continuo mediante joystick y navegación dirigida. La elección debe responder al tipo de tarea y al riesgo de incomodidad. Para analizar un modelo de mesa, la locomoción puede ser innecesaria; para explorar un paisaje a escala, el teletransporte entre puntos significativos puede reducir desplazamientos artificiales. La navegación libre debe justificar qué capacidades aporta y no convertir el recorrido en un obstáculo para llegar al contenido.

La manipulación de objetos merece instrucciones previas y tolerancias razonables. Los objetivos pequeños pueden generar frustración cuando el seguimiento falla o la motricidad fina es limitada. Un objeto de aprendizaje debería permitir zonas de interacción amplias, confirmaciones visibles y opción de reiniciar posición. Las tareas de precisión profesional —por ejemplo, cirugía o ensamblaje— exigen simuladores con validación específica; no basta afirmar que agarrar un objeto tridimensional equivale a entrenar la habilidad real.

El confort requiere mecanismos de salida inmediata. La sesión debe permitir una pausa y regreso sin perder el progreso esencial. El docente verifica la superficie y el espacio despejados, confirma condiciones de uso y comunica síntomas ante los que debe suspenderse la actividad. Los límites de tiempo deben ajustarse a usuarios y contenido, no a un número universal presentado como científico. Las recomendaciones del centro de seguridad del fabricante incluyen descansos, revisión de límites y supervisión adecuada para menores (Meta, 2026d).

4.3.1. Prueba de confort por tareas

Una prueba de confort documenta la secuencia exacta y las condiciones de uso: posición sentada o de pie, duración, modalidad de entrada, necesidad de girar, velocidad de elementos animados, frecuencia de cambios de escena y facilidad de abandonar. Las observaciones deben tratar la incomodidad como información de diseño y no como falta de habilidad del participante. No se deben inducir o prolongar molestias para conseguir

una muestra completa. El protocolo requiere criterios de interrupción establecidos antes del ensayo.

4.4. DISEÑO DE EXPERIENCIAS PEDAGÓGICAS INMERSIVAS

La orientación inicial se parece a una alfabetización instrumental. Antes de resolver el problema científico, el aprendiz necesita reconocer límites, controles y acciones elementales. Una escena breve y neutral permite practicar seleccionar, ampliar, recuperar el punto de vista y salir. Sus resultados no deben mezclarse con la calificación conceptual. Una vez dominadas estas operaciones, la interfaz reduce ayudas visuales que competirían con la tarea principal.

La fase de predicción debe preceder a la demostración cuando el objetivo es razonar causalmente. En un laboratorio de cuenca, el usuario elige entre hipótesis sobre el recorrido de una sustancia. La simulación muestra consecuencias según parámetros documentados. El estudiante puede repetir con una sola variable diferente y registrar si su explicación cambia. La repetición es valiosa cuando se compara, no cuando se observa la misma animación sin una nueva pregunta.

La retroalimentación automática debe tener límites epistemológicos. Es razonable indicar que un valor supera un rango previsto, que una unidad está ausente o que se omitió justificar una decisión. Resulta más delicado clasificar de manera automática la calidad de una explicación científica abierta. En ese caso, el sistema puede ofrecer criterios y ejemplos, mientras la valoración final queda en manos del docente o de un proceso validado. Una experiencia confiable muestra el motivo de cada señal y permite revisar respuestas antes de hacerlas definitivas.

El debriefing ocurre preferentemente fuera del visor, donde el grupo puede discutir con menor carga perceptiva. Comparar predicciones, reconstruir pasos y confrontar el modelo con observaciones del entorno real evita que la escena se convierta en autoridad incuestionable. El docente puede preguntar qué habría cambiado con datos distintos, qué simplificaciones aparecen y qué evidencia falta. Así se integra la experiencia corporal con una práctica argumentativa propiamente científica.

4.4.1. Protocolo didáctico de una sesión de realidad mixta

Fase	Propósito	Acción docente	Acción del estudiante
Preparación	Garantizar comprensión y seguridad	Verifica equipos, espacio y apoyos	Revisa consigna y alternativa de acceso
Calibración	Separar manejo del contenido	Demuestra entradas y salida	Practica seleccionar y reorientar
Predicción	Activar razonamiento	Plantea un problema no trivial	Registra hipótesis y nivel de certeza
Exploración	Observar relaciones controladas	Supervisa riesgos y ofrece pistas	Modifica una variable y registra cambio
Análisis	Interpretar el fenómeno	Solicita evidencias y contraejemplos	Compara hipótesis con observaciones
Transferencia	Evaluar comprensión	Presenta un caso nuevo	Justifica decisión sin repetir ruta previa

4.5. CALIDAD, VALIDACIÓN Y OPERACIÓN DE UN LABORATORIO XR

La prueba de una aplicación Meta Quest debe separar cuatro capas. La primera es técnica: arranque, seguimiento, entradas, rendimiento, almacenamiento y recuperación. La segunda es humana: lectura, alcance, orientación, confort y accesibilidad. La tercera es científica: fidelidad del modelo, coherencia de unidades, comportamiento de variables y visibilidad de supuestos. La cuarta es pedagógica: comprensión de consignas, pertinencia de la actividad y calidad de la evidencia generada. Un resultado positivo en una capa no compensa un fallo crítico en otra.

La optimización de rendimiento reduce situaciones que pueden provocar incomodidad o confusión. Los objetivos concretos de frecuencia de imagen, resolución, geometría o memoria dependen del dispositivo, motor y versión; por ello se establecen presupuestos y se miden en hardware real. Una escena puede funcionar en un equipo de desarrollo conectado al computador y fallar en un visor autónomo por carga gráfica o uso de memoria. Las pruebas deben incluir escenas extensas, transiciones, pérdida de seguimiento, cambios de iluminación y sesiones repetidas de uso.

La gestión de un aula con varios visores requiere una coreografía. Los equipos se numeran, sus versiones se inventarían, las estaciones se preparan y el responsable de

soporte dispone de un procedimiento rápido de recuperación. El docente comunica a cada grupo qué debe producir al finalizar su turno, para que la rotación no se convierta en tiempo de espera improductivo. Los registros móviles pueden sostener trabajo paralelo mientras otras personas utilizan el visor. Una experiencia bien organizada maximiza tiempo de razonamiento y minimiza tiempo de ajustes.

La privacidad en XR tiene particularidades. El seguimiento de movimientos, las imágenes del entorno y ciertos sensores pueden representar información sensible según el contexto y la finalidad. No toda capacidad del dispositivo debe convertirse en recolección permanente. La app debe solicitar únicamente permisos necesarios, explicar qué se procesa en el equipo y qué se transmite, ofrecer eliminación cuando proceda y revisar las políticas del proveedor. En escenarios de investigación con estudiantes se añade evaluación ética, autorización y minimización de datos identificables.

La implementación institucional también necesita un plan de retirada. Si un SDK deja de ser compatible, un dispositivo se avería o el contenido debe modificarse, el curso no puede depender de un único ejecutable sin respaldo. Se conservan fuentes de modelos y guiones, se documentan dependencias, se exportan registros académicos y se prepara una ruta alternativa mediante pantalla o materiales impresos. El mejor indicador de madurez tecnológica es que el aprendizaje puede continuar cuando el dispositivo no está disponible.

4.5.1. Lista de verificación de preparación de una experiencia Meta Quest

Dominio	Verificación antes de clase	Evidencia de conformidad
Versiones	Motor, SDK, sistema y perfil compatibles	Registro de compilación y prueba en visor
Objetivos	Actividades asociadas a desempeños	Matriz de alineamiento aprobada
Exactitud	Unidades, escalas y reglas documentadas	Pruebas de simulación y revisión experta
Entradas	Controladores y alternativas operativas	Guion de prueba por modalidad
Accesibilidad	Interacción sentado, textos legibles y opción equivalente	Informe de revisión con usuarios
Seguridad	Área despejada, pausas y salida inmediata	Acta de inspección previa
Privacidad	Permisos mínimos y políticas visibles	Inventario de datos y retención
Contingencia	Ruta no inmersiva disponible	Material alternativo probado

Un laboratorio XR universitario no debería normalizar la idea de que toda escena es una clase. La clase se construye con preguntas, discusión, práctica y evaluación; el visor es uno de sus medios posibles.

4.6. LABORATORIOS INMERSIVOS POR DISCIPLINAS: PROBLEMAS, REPRESENTACIONES Y LÍMITES

Los escenarios que siguen son diseños educativos posibles, no aplicaciones existentes ni intervenciones evaluadas. Su finalidad es demostrar cómo cambia el razonamiento requerido en función del contenido y por qué la misma plantilla de recorrido inmersivo no sirve para todas las disciplinas. En cada caso se declara el objeto de aprendizaje y la precaución necesaria para no confundir simulación, evidencia y realidad. Los equipos que desarrollen estas propuestas tendrán que validar sus modelos y cumplir normas profesionales específicas.

4.6.1. Geología: lectura de estratos y tiempo profundo

Una pared geológica tridimensional puede ayudar a distinguir capas, fracturas y sucesiones temporales que resultan difíciles de reconstruir mediante cortes

bidimensionales. El estudiante formula una hipótesis sobre el orden relativo de acontecimientos y después gira el modelo para buscar relaciones de superposición o corte. La interacción útil no es caminar por una cueva virtual, sino examinar geometría desde perspectivas que permitan confirmar o refutar la explicación inicial.

Las etiquetas geológicas deben permanecer opcionales durante la primera observación, para no anticipar la respuesta. Un módulo de evidencias permite registrar qué rasgo sustenta la inferencia y cuál permanece ambiguo. La evaluación presenta otra formación distinta y solicita reconstruir una secuencia relativa. La experiencia debe advertir cuándo un modelo incluye superficies reconstruidas a partir de información incompleta; un corte interpretativo no puede presentarse como observación directa.

4.6.2. Anatomía: orientación y relaciones entre estructuras

La visualización de órganos en posición relativa puede facilitar la comprensión de trayectos y proximidades. Un usuario selecciona una estructura, predice qué se encuentra detrás y la observa desde un plano diferente. El sistema debe conservar referencias anatómicas y señalar cambios de escala. La actividad puede incluir variantes normales documentadas, evitando que una única representación sea tratada como universal.

La evaluación exige describir relaciones espaciales en un esquema nuevo, no solo reconocer colores en el modelo practicado. El material se revisa con especialistas y declara que es didáctico, no herramienta diagnóstica. La interacción sentado, el control por alternativas y las etiquetas accesibles son esenciales para no confundir destreza manual con conocimiento anatómico.

4.6.3. Física: campos y trayectorias vectoriales

La dificultad de imaginar un campo tridimensional puede abordarse mediante líneas, partículas simbólicas y controles de magnitud. El estudiante predice la dirección de una fuerza en determinados puntos y contrasta su respuesta con una visualización cuya convención gráfica está explicada. Los vectores deben conservar unidades y escalas consistentes cuando representen magnitudes reales.

Un riesgo frecuente es que la animación produzca la idea de que las líneas de campo son objetos materiales. El docente introduce la convención antes de explorar y solicita explicar sus límites después. La prueba de transferencia puede presentar un sistema de fuerzas no mostrado y requerir un diagrama razonado sin visor.

4.6.4. Química: geometría molecular y estereoquímica

Los modelos de moléculas pueden girarse, separarse en componentes y compararse desde varias orientaciones. Una actividad valiosa pide prever si dos representaciones son equivalentes bajo rotación o corresponden a configuraciones distintas. El sistema no debe sustituir la nomenclatura ni el razonamiento espacial por un efecto de «encaje correcto» sin explicación.

Los enlaces y tamaños atómicos pueden exagerarse para facilitar interacción; la escena debe declarar esas convenciones. El estudiante registra criterios de comparación y luego resuelve un conjunto nuevo en papel o pantalla. La evaluación valora la capacidad de justificar equivalencia y no el tiempo empleado en agarrar el modelo virtual.

4.6.5. Ingeniería civil: interferencias en una instalación

Una maqueta BIM simplificada puede permitir detectar interferencias entre elementos estructurales, tuberías y conductos. Los estudiantes inspeccionan la obra a escala y registran qué información faltaría para proponer una modificación. El interés educativo reside en comprender dependencias entre disciplinas, no en producir una revisión técnica certificada a partir de un visor.

Las medidas y tolerancias se obtienen de datos modelados y deben identificarse como tales. Cuando existan discrepancias entre documentos, el ejercicio debe invitar a comparar fuentes en lugar de ocultar el conflicto. La actividad se evalúa mediante un informe de hallazgos con justificación y propuesta de verificación profesional.

4.6.6. Agronomía: arquitectura radicular y suelo

La relación entre raíces, textura del suelo, humedad y nutrientes puede visualizarse mediante un modelo seccionado. El aprendiz modifica una variable conceptual y observa una consecuencia representada, sin atribuir precisión agronómica

a una animación. La escena exige diferenciar procesos observables de hipótesis sobre mecanismos subterráneos.

Una tarea de transferencia solicita proponer un plan real de observación del suelo y de medición de variables. Se explican las limitaciones de extrapolar un modelo genérico a cultivos y localidades concretas. Las decisiones de fertilización o riego requieren fuentes y asesoramiento aplicables al territorio.

4.6.7. Patrimonio arqueológico: reconstrucción y evidencia

Un sitio histórico puede reconstruirse con capas de certeza diferenciadas. El estudiante explora restos documentados, hipótesis arquitectónicas y elementos de restitución artística, todos etiquetados según la solidez de las fuentes. La actividad principal consiste en distinguir registro material, interpretación y creación visual.

El visor ofrece cambios entre estado conservado y reconstrucción probable, sin convertir la versión digital en autoridad final. La evaluación pide comparar dos reconstrucciones y explicar qué evidencia inclina una interpretación. Se requiere sensibilidad respecto de comunidades vinculadas al patrimonio y derechos sobre representaciones culturales.

4.6.8. Psicología cognitiva: atención selectiva y multitarea

Una escena controlada puede demostrar que añadir tareas y estímulos afecta el desempeño de atención, siempre que se explique que el ejercicio no diagnostica capacidades individuales. El estudiante predice dónde surgirá interferencia, ejecuta una actividad sencilla y analiza qué factores podrían explicar sus errores. La complejidad debe mantenerse baja para evitar malestar innecesario.

Los registros de respuesta pueden conservarse agregados y sin identidad cuando la finalidad es exclusivamente docente. No se interpretan diferencias como rasgos permanentes de inteligencia o personalidad. La transferencia consiste en diseñar una interfaz con menos distracciones y justificarla mediante principios cognitivos.

4.6.9. Educación inicial: tamaño, forma y clasificación

Las tareas de clasificación espacial pueden representarse mediante objetos volumétricos de formas diversas, pero la edad mínima y las condiciones del fabricante limitan su uso directo con niños pequeños. Para poblaciones que no cumplen requisitos de cuenta y supervisión, el visor puede emplearse solo por docentes adultos para diseñar materiales, mientras la actividad infantil utiliza objetos manipulables y recursos apropiados para su edad.

La propuesta didáctica debe adaptarse al desarrollo y no presentar una experiencia XR como obligatoria. El resultado evaluable es la capacidad de clasificar, explicar y comparar formas mediante medios seguros y accesibles. Cualquier uso con menores autorizados requiere revisión específica de seguridad y condiciones locales.

4.6.10. Formación docente: gestión de diálogo en aula

Una simulación con personajes virtuales puede presentar situaciones de participación desigual, preguntas ambiguas y tiempos de espera. El docente en formación ensaya respuestas, observa consecuencias guionizadas y discute decisiones con un tutor. Su valor no está en simular exactamente el comportamiento humano, sino en crear situaciones deliberadas para practicar reflexión y lenguaje pedagógico.

Los avatares no sustituyen interacciones auténticas ni permiten certificar competencia interpersonal. La evaluación utiliza una rúbrica sobre calidad de preguntas, escucha y decisión justificada, complementada con observación en contextos reales. El guion debe evitar estereotipos de estudiantes y permitir explorar varias respuestas razonables.

4.6.11. Enfermería: organización de un entorno de atención

Una sala virtual puede servir para reconocer la ubicación de equipos y priorizar tareas no invasivas según un protocolo validado. La actividad presenta un caso de entrenamiento claramente ficticio y solicita identificar riesgos, consultar una guía y justificar el orden de acciones. El propósito es organización cognitiva antes de prácticas supervisadas, no sustituir entrenamiento clínico.

La evaluación se basa en procedimientos aprobados por responsables de la formación y reconoce la posibilidad de diferencias entre instituciones. La precisión de objetos y tiempos debe verificarse antes de usar el entorno. Datos de pacientes reales no deben cargarse al simulador sin autorización y protecciones apropiadas.

4.6.12. Seguridad minera: reconocimiento de peligros

Un entorno de mina virtual permite examinar señales de riesgo sin exponer estudiantes a peligros físicos. Los participantes identifican condiciones de ventilación, circulación, estabilidad o equipo de protección conforme a procedimientos institucionales documentados. La escena no debe enseñar intervención operativa especializada sin supervisión de expertos ni inducir confianza excesiva en habilidades no demostradas.

El recorrido se detiene para solicitar argumentos sobre consecuencias y medidas preventivas. Una evaluación final utiliza un escenario nuevo y verifica identificación de peligros. La simulación es preparación cognitiva; la habilitación profesional requiere formación y evaluación práctica adicionales.

4.6.13. Geografía urbana: crecimiento y accesibilidad

Una maqueta tridimensional de ciudad permite contrastar densidad, pendientes y rutas de transporte. El estudiante compara escenarios de expansión y argumenta sus efectos en acceso a servicios. La representación espacial debe acompañarse de datos verificables sobre población, tiempos y cobertura cuando se pretenda una conclusión cuantitativa.

Los escenarios pueden ser hipotéticos, pero el etiquetado debe impedir confundirlos con planes oficiales. La evaluación pide justificar compromisos entre movilidad, vivienda y ambiente, reconociendo limitaciones de los datos disponibles. Un mapa bidimensional accesible sirve como alternativa para quienes no utilizan el visor.

4.6.14. Ecología: redes tróficas y perturbaciones

Una red de especies puede visualizarse en una escena con relaciones entre organismos, recursos y cambios de hábitat. La intervención didáctica pide prever consecuencias de alterar un nodo y explicar por qué una respuesta no es inmediata ni

lineal. Los efectos visuales simplificados deben basarse en relaciones declaradas y no atribuir exactitud predictiva a ecosistemas complejos.

El estudiante compara dos modelos alternativos y propone qué datos de campo necesitaría para resolver discrepancias. La evaluación se centra en razonamiento sistémico y manejo de incertidumbre. Las representaciones evitan presentar a especies como «buenas» o «malas» por conveniencia narrativa.

4.6.15. Derecho: reconstrucción espacial de hechos

Una escena virtual de un lugar ficticio puede apoyar discusión sobre perspectiva, visibilidad, trayectorias y límites de reconstrucciones periciales. El estudiante examina versiones alternativas y explica qué elementos están sustentados por evidencia y cuáles dependen de hipótesis. El modelo no debe presentarse como prueba automática ni como sustituto de una pericia real.

La actividad exige un informe que distinga hechos, inferencias y supuestos. Se evita reproducir casos sensibles con personas identificables o escenas potencialmente traumáticas sin justificación y protocolos adecuados. La corrección valora prudencia probatoria y argumentación.

4.6.16. Economía: cadenas logísticas y externalidades

Un puerto o cadena de suministro tridimensional puede hacer visibles dependencias entre etapas y puntos de congestión. La escena presenta flujos conceptuales y permite variar una condición, como interrupción de transporte, para observar repercusiones. El usuario debe explicar por qué una demora local podría afectar costos o disponibilidad a otras escalas.

La simulación declara qué variables económicas se mantienen fijas y cuáles se representan cualitativamente. La evaluación compara decisiones bajo restricciones nuevas y solicita reconocer externalidades. No se utilizan resultados ficticios como recomendaciones para empresas reales.

4.6.17. Lenguas extranjeras: conversación situada

Una escena de museo, aeropuerto o servicio público puede ofrecer un contexto de interacción lingüística sin exponer a principiantes a una situación social real de alta presión. Las tareas se orientan a comprensión, negociación de significado y estrategias comunicativas; los personajes y diálogos deben permitir diversos acentos y respuestas aceptables.

La fluidez no puede medirse exclusivamente por velocidad, ni un reconocimiento de voz imperfecto debe presentarse como evaluación definitiva. El docente observa transferencia a una conversación humana y revisa problemas culturales del guion. Los subtítulos y vías alternativas de respuesta sostienen accesibilidad.

4.6.18. Matemática: secciones de sólidos en profundidad

Cortar un prisma o cono virtual puede apoyar una predicción geométrica. El estudiante dibuja primero la sección esperada, modifica la orientación de un plano y compara con el resultado. La escena debe mostrar ejes y referencias que no se desplacen de manera ambigua.

El aprendizaje se demuestra cuando resuelve problemas nuevos sin necesidad de reproducir el gesto realizado. Las operaciones de corte se ofrecen por controles accesibles, y el software no considera error conceptual una dificultad motriz. El profesor contrasta la manipulación con demostraciones matemáticas simbólicas.

4.6.19. Astronomía: orientación y escalas del sistema solar

Un modelo del sistema solar permite visualizar movimientos relativos, pero ninguna sala puede representar simultáneamente tamaños y distancias reales con comodidad. El diseño debe hacer visibles las escalas elegidas y permitir alternar modelos, evitando que una representación espectacular genere concepciones erróneas.

El estudiante calcula órdenes de magnitud, justifica qué escala se sacrificó y compara modelos. La evaluación valora interpretación de proporciones más que reconocimiento de planetas por color. Se ofrece una tabla de distancias y dimensiones que puede consultarse fuera del visor.

4.6.20. Turismo sostenible: decisiones en un área protegida

Un recorrido por un área natural virtual puede plantear dilemas entre accesibilidad, conservación y experiencia de visitantes. Las personas comparan rutas hipotéticas y proponen medidas justificadas, usando mapas y evidencia ambiental. La escena debe representar con cuidado comunidades y ecosistemas, sin transformar territorios habitados en simple escenografía.

Las decisiones se documentan con una matriz de impacto y se contrastan posteriormente con fuentes reales. La evaluación exige analizar el efecto de una restricción nueva, como cierre de una ruta. El recorrido inmersivo es un medio para plantear problemas, no una certificación de sostenibilidad.

4.6.21. Diseño industrial: ergonomía y prueba de prototipos

Una representación de un puesto de trabajo permite examinar alcance, visibilidad y circulación antes de construir un prototipo físico. El estudiante modifica disposición de componentes y argumenta cambios a partir de criterios ergonómicos. El visor puede revelar relaciones de escala, pero carece de fuerzas y sensaciones táctiles propias del objeto real.

Por esa razón la evaluación exige una segunda prueba con medidas físicas o un prototipo accesible. No deben aprobarse condiciones de seguridad laboral exclusivamente mediante XR. Las características corporales de usuarios diversos deben informar el diseño en lugar de usar una figura humana única como norma universal.

4.6.22. Educación ambiental: microplásticos en una cuenca

Una escena puede representar transporte conceptual de partículas desde diferentes puntos de una cuenca. El estudiante identifica posibles trayectorias y propone dónde realizar muestreos, sin confundir partículas visuales con datos observados. El modelo distingue fuentes hipotéticas, velocidad de transporte aproximada y procesos omitidos.

La transferencia consiste en diseñar un plan de investigación y explicar por qué la presencia de contaminación requiere análisis de laboratorio. El escenario no permite

afirmar niveles reales de exposición. La tarea científica está en construir una estrategia de observación y reconocer límites del modelo.

4.6.23. Ingeniería eléctrica: rutas de cableado y seguridad

Una sala virtual puede enseñar a identificar componentes y planificar un recorrido de instalación con criterios formativos. La simulación debe permanecer en un nivel seguro y no promover intervenciones sobre sistemas eléctricos reales sin autorización. La interacción exige explicar por qué determinada disposición viola una regla o dificulta mantenimiento.

Las normas de diseño deben revisarse con especialistas y actualizarse cuando cambien. La evaluación se realiza sobre interpretación de planos y decisiones justificadas; un gesto correcto dentro de la escena no habilita a trabajar sobre instalaciones energizadas.

4.6.24. Comunicación científica: visualización de incertidumbre

Una exposición inmersiva puede ofrecer una visualización impactante de datos climáticos, sanitarios o económicos. Su valor aumenta cuando permite explorar intervalos, muestras y supuestos, no solo gráficos de gran tamaño. El estudiante compara dos representaciones de un mismo conjunto y explica cómo el encuadre puede alterar una interpretación.

Una escena responsable no convierte una estimación incierta en objeto aparentemente preciso. La evaluación pide construir una visualización alternativa y justificar sus elecciones. La competencia desarrollada es criterio comunicativo y estadístico, no capacidad para desplazarse por una galería virtual.

4.6.25. Formación en mediación y negociación

Una experiencia con personajes guionizados puede presentar un desacuerdo entre partes y permitir practicar escucha, reformulación y opciones de acuerdo. La simulación debería ofrecer consecuencias diversas en lugar de premiar una frase única. El propósito es reflexionar sobre habilidades comunicativas, no afirmar que el sistema representa la complejidad emocional de toda negociación real.

El debriefing con docentes expertos es indispensable para analizar sesgos, lenguaje y alternativas. La evaluación debe trasladarse a interacciones humanas supervisadas. Los escenarios se diseñan evitando caricaturizar identidades sociales o atribuir comportamientos estereotipados.

4.6.26. Investigación de operaciones: gestión de evacuación

Una maqueta espacial de edificio permite estudiar rutas, cuellos de botella y restricciones de accesibilidad ante una evacuación hipotética. El estudiante compara planes y propone variables que debería medir para evaluar una ruta real. La escena no sustituye un plan institucional de emergencia ni un simulacro autorizado.

Los tiempos y flujos representados requieren supuestos claramente publicados. La evaluación valora capacidad de identificar riesgos y justificar modificaciones, incluyendo necesidades de personas con movilidad diversa. Cuando se use un edificio real, toda representación se revisa por responsables de seguridad antes de extraer conclusiones prácticas.

4.7. TALLER DE PRODUCCIÓN: DE UN GUION A UNA ESCENA META QUEST EVALUABLE

4.7.1. Diseño del repositorio, versiones y dependencias

El repositorio de una experiencia XR educativa tiene que conservar más que archivos del motor. Debe incluir guion pedagógico, fuentes de los datos, referencias de modelos, criterios de evaluación, dependencias, licencias y plan de pruebas. La estructura sugerida separa contenido curricular, simulación, interacción, interfaz, recursos audiovisuales y documentación. De esta forma, un experto puede revisar la validez científica sin tener que modificar la lógica de controles, y un programador puede actualizar el SDK sin alterar contenidos por accidente.

Antes de empezar se registra la versión de Unity, el destino Meta Quest, la configuración de OpenXR, los paquetes de Meta XR y el modelo de visor utilizado en las pruebas. Las instrucciones oficiales cambian con frecuencia; por eso el repositorio conserva un archivo de decisiones técnicas con fecha, alternativas examinadas y justificación. En 2026, la documentación de Meta distingue proveedores OpenXR y

señala el carácter obsoleto del antiguo complemento Oculus XR; un proyecto nuevo debe comprobar la guía vigente y evitar basarse exclusivamente en tutoriales anteriores.

Los activos tridimensionales necesitan trazabilidad de procedencia y licencias. Un modelo descargado de una biblioteca puede imponer condiciones diferentes para redistribución o edición. Cada activo conserva autoría, fuente, versión, escala y modificaciones. Los contenidos generados por el propio equipo requieren igualmente documentación: si una superficie representa una cuenca ficticia, el archivo debe indicarlo para que futuras versiones no la presenten como cartografía real.

4.7.2. Construcción de una escena mínima con finalidad pedagógica

Una escena mínima puede contener un plano de referencia, un modelo de dominio, un control de estado y una interfaz de pregunta. El desarrollo empieza con una acción: seleccionar entre dos hipótesis y comprobar qué ocurre al activar una condición. No se necesitan avatares ni efectos elaborados para evaluar si la tarea aporta aprendizaje. La escena debe arrancar, mostrar contexto, aceptar un control alternativo, permitir regresar y guardar una evidencia textual o estructurada.

El motor gráfico separa el cálculo de la simulación de los efectos visuales. Un componente de dominio recibe un conjunto de variables validadas y devuelve estados; otro componente convierte esos estados en partículas, colores o animaciones. Esta separación permite probar que el modelo responde como fue definido incluso sin ejecutar el renderizador. También facilita introducir una versión de pantalla con los mismos resultados y, por tanto, comparar modalidades de enseñanza de manera más justa.

La interfaz debe evitar dependencia de objetos minúsculos o gestos muy precisos. Los puntos de selección se ubican en zonas cómodas y muestran confirmación clara. Un panel explica cómo regresar al estado inicial y cómo abandonar la experiencia. Si una escena implica cambios de escala, el sistema conserva referencias reconocibles y etiqueta la escala visual para impedir inferencias cuantitativas falsas.

4.7.3. Diseño de un sistema de interacción adaptable

La entrada del usuario puede proceder de controlador, seguimiento de manos, mirada asistida o una interfaz no inmersiva. El objetivo técnico es que acciones equivalentes generen el mismo comando de dominio. «Seleccionar estación de muestreo» debería producir idéntica operación con distintas modalidades, siempre que todas permitan acceder al punto relevante. Las diferencias gestuales no deben alterar el puntaje académico cuando el constructo es el razonamiento científico.

Un sistema adaptable necesita reglas de prioridad y recuperación. Cuando falla seguimiento de manos, el usuario debería poder pasar a controladores sin reiniciar el desafío. Cuando una acción se activa accidentalmente, una confirmación o mecanismo de deshacer previene pérdida de estado. Los gestos repetitivos o amplios pueden producir fatiga; el diseño ofrece alternativas menos exigentes. Los usuarios con dificultades de visión o movilidad necesitan ensayar las tareas en condiciones reales, no solo una lista de opciones teóricas.

La prueba de interacción documenta falsos positivos, selecciones fallidas, tiempo para recuperar control y necesidad de asistencia. Los resultados deben compararse entre entradas sin confundir mayor precisión mecánica con mejor aprendizaje. El equipo prioriza modalidades que permitan mantener atención en el problema y no en la interfaz.

4.7.4. Passthrough y escena del espacio físico

La realidad mixta coloca objetos digitales en relación con el entorno visible mediante cámaras y sensores. La función de *passthrough* no es una ventana neutra: su calidad, latencia y capacidades varían según dispositivo. El diseño debe explicar qué elementos pertenecen al mundo digital y evitar colocar señales críticas donde puedan quedar ocultas por objetos reales. En un laboratorio educativo, una maqueta sobre una mesa puede facilitar orientación y discusión, siempre que no obligue a los estudiantes a acercarse a bordes o obstáculos.

La detección de superficies o el almacenamiento de anclajes no se justifica por su disponibilidad técnica. Una escena que solo necesita un plano de apoyo puede utilizar

una ubicación temporal sin retener información del aula. Los permisos y los datos derivados del entorno se examinan con criterio de minimización. Si una actividad necesita persistencia de objetos entre sesiones, el equipo documenta qué se guarda, cuánto tiempo y cómo se elimina.

La prueba de realidad mixta considera habitaciones de distinta iluminación, superficies reflectantes, cambios de mobiliario, zonas pequeñas y usuarios sentados. El modelo debe ofrecer un proceso comprensible de recalibración. La situación más peligrosa no es un pequeño fallo gráfico, sino una representación que induce a moverse confiando en una percepción espacial incorrecta.

4.7.5. Reglas de simulación y fidelidad conceptual

El modelo educativo debe declarar sus entradas, salidas, supuestos y dominio de validez. Si una variable representa lluvia con escala simbólica de bajo a alto, la interfaz no debe presentarla posteriormente como precipitación real en milímetros. Si se necesitan cálculos físicos, estos deben derivarse de relaciones adecuadas y revisarse por expertos. La animación no demuestra por sí sola que el algoritmo sea científicamente válido.

Los casos de prueba incluyen situaciones límite: valor mínimo y máximo, cambio secuencial, reinicio, combinaciones no previstas y entradas fuera de rango. El sistema debería responder con un mensaje explícito cuando la variable excede lo modelado, en lugar de extrapolar silenciosamente. Los valores de una escena conceptual no pueden utilizarse como predicción para obras, salud o gestión de riesgos reales. Este criterio protege al estudiante de atribuir al realismo visual una precisión que no posee.

Cada versión del modelo conserva una ficha de revisión. Si se modifica una relación causal, los resultados anteriores deben seguir interpretándose con su versión original. Las evidencias exportadas incluyen identificadores de escenario y parámetros relevantes. Esta documentación resulta necesaria para comparar estudiantes o grupos que pudieron utilizar contenidos diferentes.

4.7.6. Texto, audio y legibilidad en espacio tridimensional

Los paneles de texto en XR requieren diseño diferente al de una página. Una etiqueta situada a demasiada distancia puede resultar ilegible; un panel excesivamente cercano puede dificultar el enfoque; el texto largo colocado sobre objetos en movimiento obliga a esfuerzos innecesarios. Conviene presentar información esencial en fragmentos breves y ofrecer una versión de lectura cómoda fuera del visor. El estudiante no debería necesitar mantener un gesto prolongado para leer una consigna.

El audio espacial puede orientar hacia eventos y enriquecer una explicación, pero nunca debería ser la única vía para reconocer un cambio importante. Se ofrecen subtítulos, indicadores visuales y ajuste de volumen cuando corresponda. La narración se puede pausar y repetir, especialmente durante procedimientos con varios pasos. Los sonidos decorativos se reducen si compiten con instrucciones o desvían la atención del fenómeno.

La personalización incluye tamaños, contraste, idioma y posición de paneles. Las pruebas se realizan en el propio visor, porque una interfaz legible en la pantalla del desarrollador puede fracasar a la distancia y resolución de uso. La decisión de mostrar texto en el entorno se justifica por su función; un informe largo suele ser más adecuado para móvil o computadora.

4.7.7. Rendimiento, latencia y tolerancia a fallos

El rendimiento XR influye tanto en percepción como en seguridad. Una escena con interrupciones, latencia o movimientos inesperados puede producir incomodidad y perjudicar la actividad. El equipo define presupuestos de geometría, materiales, partículas, memoria y carga de escena según hardware objetivo. Las pruebas se ejecutan de manera sostenida en visores autónomos, no únicamente dentro del editor del motor.

La optimización comienza por identificar costos reales con herramientas de perfilado. Reducir geometría invisible, preparar niveles de detalle, limitar efectos innecesarios y simplificar colisiones puede mejorar estabilidad. No deben sacrificarse indicadores pedagógicos críticos: eliminar una escala o etiqueta indispensable para

ganar rendimiento podría afectar validez de la actividad. El criterio de diseño se negocia entre ingeniería y docencia.

Las fallas de seguimiento o pérdida de permisos tienen que producir estados seguros. Si una escena no puede asegurar orientación suficiente, debe pausar operaciones que requieran precisión. La recuperación informa qué contenido se conserva y permite salir. Las pruebas incluyen apagado, reinicio, pausa, cambio de sala, pérdida temporal de interacción y batería insuficiente. Un proyecto piloto no debería depender de que todo funcione únicamente bajo condiciones de demostración.

4.7.8. Estrategias de trabajo con un número reducido de visores

La disponibilidad limitada de hardware no obliga a suspender una actividad ni a convertir a los demás estudiantes en espectadores. Una estructura de estaciones puede asignar tareas complementarias: modelado de predicciones en móvil, lectura de datos, exploración XR, revisión de explicaciones y debate. Las responsabilidades rotan para que todos accedan a los mismos objetivos, aunque no necesariamente al mismo tiempo. La duración de cada estación se determina después de una prueba de operación, no mediante una cifra arbitraria.

El docente establece un producto verificable en cada estación. Quien no usa el visor puede analizar una tabla y preparar preguntas que el explorador tendrá que comprobar. Quien explora debe comunicar cambios de variables y observaciones de manera estructurada. Esta coordinación transforma una limitación de equipos en una ocasión para practicar argumentación colectiva, siempre que se vigile una distribución justa de roles.

La planificación también incluye tiempo de higienización, ajuste, asistencia y recuperación. Un visor que exige atención constante de un técnico puede reducir considerablemente tiempo pedagógico. Es necesario registrar incidencias y revisar el guion hasta minimizar fricciones. El método de rotación no compensa un contenido sin valor formativo, pero puede ampliar acceso cuando la experiencia está bien justificada.

4.7.9. Test de seguridad previo a cada clase

La seguridad física debe verificarse como procedimiento, no confiarse a la experiencia previa de los usuarios. El responsable inspecciona espacio, límites, obstáculos, superficies y condiciones de uso. Se informa a cada participante cómo detener la sesión y a quién avisar ante molestias. La actividad tiene una alternativa que conserva el objetivo curricular para quien decide no utilizar el visor o debe suspenderlo.

Los escenarios de riesgo se consideran antes del despliegue: colisión con mobiliario, desplazamiento involuntario, pérdida de orientación, incomodidad por movimiento, higiene y uso por personas que no cumplen requisitos del fabricante. Una actividad colaborativa con varios visores en una habitación pequeña exige precauciones adicionales porque los participantes pueden perder conciencia de la ubicación de otros. Ninguna regla de puntuación debe incentivar velocidad o desplazamientos peligrosos.

El procedimiento documenta observaciones y medidas correctivas sin recopilar información médica innecesaria. Un incidente importante se comunica por la vía institucional correspondiente y puede justificar retirar temporalmente la escena. La prevención no consiste en llenar formularios, sino en modificar condiciones reales de operación y comprobar que la experiencia sigue siendo educativa.

4.7.10. Pruebas de validez y transferencia más allá del visor

Una prueba de escena puede demostrar que los objetos reaccionan como se programó, pero no que el usuario comprendió un concepto. La validación educativa exige tareas antes, durante y después de la inmersión. El estudiante formula una predicción, observa consecuencias, explica relaciones y resuelve un problema nuevo cuando ya no dispone de la representación. La transferencia es particularmente importante porque una escena puede enseñar a localizar botones sin construir un modelo conceptual utilizable.

Los instrumentos necesitan revisión externa y ejemplos de niveles de desempeño. Si un grupo recibe una experiencia inmersiva y otro una alternativa, se controla el tiempo de práctica, la calidad de retroalimentación y la información disponible. La satisfacción y la presencia se reportan como variables distintas del

aprendizaje. También se registran abandonos por incomodidad, porque excluir esos casos del análisis puede producir una impresión indebidamente optimista.

La documentación final debe permitir interpretar el resultado: versión de software, modelo de visor, condiciones del espacio, guion docente, modalidad de entrada, perfil de participantes, instrumentos y límites. Publicar solo imágenes de estudiantes utilizando gafas no ofrece evidencia sobre valor educativo. Un laboratorio se convierte en fuente de conocimiento cuando otra institución puede comprender qué se hizo, bajo qué condiciones y con qué criterios se observó.

4.8. BANCO DE PRUEBAS DE ACEPTACIÓN PARA EXPERIENCIAS EDUCATIVAS CON META QUEST

El despliegue de una experiencia inmersiva requiere criterios de aceptación distintos de los habituales en una aplicación de escritorio. Un programa puede superar todas las pruebas funcionales convencionales y, aun así, provocar desorientación, ocultar información importante al usuario o interferir con la medición de los aprendizajes. El banco siguiente describe situaciones verificables por un equipo de desarrollo y docencia. Cada prueba define una condición, una operación, la evidencia requerida y el criterio de decisión. Se propone como marco de trabajo adaptable: las especificaciones y restricciones concretas deben contrastarse con el modelo de visor, el sistema operativo, el motor de ejecución y la documentación vigente al instalar la solución.

4.8.1. Reingreso después de una interrupción

La actividad se interrumpe mientras el estudiante compara dos estados de un modelo. Tras volver a la aplicación, debe poder reconocer el problema, recuperar sus predicciones y decidir si continúa desde un punto confiable o reinicia la comparación. El sistema no debería hacer pasar una reconstrucción aproximada por el estado previamente observado. También debe distinguir entre información guardada, variables temporales y acciones que no pueden recuperarse. La prueba se realiza en distintas fases: antes de responder, durante la manipulación y después del registro de evidencia.

Se acepta la implementación cuando el equipo puede demostrar, mediante registros de ejecución y revisión presencial, que la pérdida de estado no introduce respuestas ficticias ni modifica de manera invisible las condiciones experimentales. Si no es seguro reanudar una manipulación, la interfaz debe explicarlo y ofrecer una ruta de regreso al punto de inicio. La documentación de esta prueba identifica versión de software, modo de pausa y tratamiento de datos pendientes; una captura de pantalla aislada no basta para acreditar recuperación.

4.8.2. Recuperación de orientación sin dependencia de visión periférica

Durante una tarea de inspección tridimensional, una persona puede perder la referencia de dónde se encuentra el objeto principal. La escena debe incorporar un mecanismo predecible para restaurar orientación y distancia de observación. No basta con suponer que el estudiante recordará un gesto o podrá girar físicamente para encontrar un botón. La interfaz debe permitir recuperar la vista, consultar ayudas y abandonar la experiencia desde una posición de trabajo segura. Conviene observar la interacción tanto de usuarios con experiencia previa como de participantes que nunca utilizaron un visor.

La evidencia incluye un protocolo de acciones concretas, observación de errores de orientación y comprobación de que el restablecimiento no altera silenciosamente variables científicas. Un retorno de cámara no debe confundirse con un restablecimiento del experimento. Si un estudiante cambia de escala, el modelo mantiene unidades y etiquetas o advierte de manera inequívoca la transformación. Una solución aceptable restaura autonomía sin conceder ventajas académicas a quienes conocen atajos técnicos.

4.8.3. Colisiones entre una acción didáctica y un control de seguridad

Algunas tareas invitan a acercarse a un elemento, seguir una trayectoria o manipular un objeto ubicado fuera de la zona cómoda de interacción. El equipo debe comprobar que ninguna recompensa académica dependa de cruzar límites físicos, extender los brazos de forma insegura o acelerar movimientos. Para hacerlo, se revisan todos los objetivos, mensajes y señales visuales del guion. Una flecha que parece indicar un destino pedagógico puede convertirse involuntariamente en una invitación a desplazarse por el aula.

La aceptación exige que las metas puedan alcanzarse mediante movimientos de bajo riesgo o alternativas equivalentes. Si el sistema presenta un aviso de seguridad, su prioridad debe superar a instrucciones de progreso, cronómetros y puntuaciones. La prueba se ejecuta en espacios comparables a los previstos para uso institucional y se documenta qué mobiliario fue retirado, qué límites se verificaron y cómo se actuará ante una interrupción. No existe un resultado aprobatorio trasladable automáticamente a cualquier sala.

4.8.4. Coherencia entre representación visual y evidencia científica

Un estudiante interpreta una animación de flujo, propagación o movimiento molecular. Antes de considerar correcta su conclusión, es necesario comprobar que la representación respeta las relaciones que pretende enseñar y señala sus simplificaciones. Los colores, velocidades y tamaños pueden ser convencionales, pero las convenciones deben estar documentadas. Un cambio de velocidad gráfica para facilitar observación no equivale a un cambio de velocidad física, y un desplazamiento llamativo no demuestra una causa si el modelo ha alterado varias variables a la vez.

El equipo de aceptación compara guion, ecuaciones o reglas de simulación, etiquetas de interfaz y respuestas esperadas. Se preparan condiciones límite que puedan revelar contradicciones, incluidas configuraciones donde la intuición visual suele fallar. El revisor disciplinar debe poder reproducir cada fenómeno sin depender de una explicación oral del desarrollador. Si la precisión requerida no es técnicamente viable, el proyecto reformula su objetivo educativo o elige una representación más sobria.

4.8.5. Equivalencia de tareas entre experiencia inmersiva y alternativa accesible

La alternativa en pantalla plana no tiene por qué parecerse visualmente a la escena XR; su obligación es preservar el constructo evaluado. Si el objetivo consiste en justificar una relación espacial, ambos recorridos deben ofrecer información suficiente para hacerlo, aunque uno emplee rotación tridimensional y otro vistas ortogonales. Se prepara una matriz de equivalencia con instrucciones, datos disponibles, tareas de respuesta y rúbrica. La adaptación no se valida comparando únicamente minutos de uso o preferencias de interfaz.

La revisión debe buscar barreras que generen diferencias de puntuación ajenas al aprendizaje: velocidad de selección, capacidad para sostener un control, tolerancia a movimiento y familiaridad con el dispositivo. Un par de estudiantes que recibe rutas distintas debería afrontar exigencias conceptuales comparables y poder justificar sus decisiones mediante evidencias trazables. Si esa equivalencia no se logra, se informa la diferencia como limitación de evaluación y no se comparan resultados como si fueran intercambiables.

4.8.6. Legibilidad de instrucciones durante manipulación y movimiento

Textos extensos, etiquetas incrustadas en profundidad o indicaciones que quedan detrás del objeto manipulado pueden volver ilegible una buena actividad. El guion debe reconocer que leer, localizar un control y razonar científicamente compiten por recursos de atención. Se examinan contraste, proximidad, estabilidad visual, tamaño relativo del texto, ubicación de paneles y capacidad de reabrir instrucciones. También se verifica si el usuario puede pausar la tarea para leer sin perder el estado del modelo.

No es suficiente que un diseñador conociendo la escena encuentre rápidamente los controles. La evaluación de aceptación pide a personas que desconocen el recorrido que identifiquen la consigna, el parámetro modificable, el dato resultante y el modo de registrar su argumento. Los problemas observados se clasifican según su impacto pedagógico: un texto decorativo puede eliminarse, pero una unidad ilegible o una advertencia omitida amenaza la comprensión y la validez de la actividad.

4.8.7. Transferencia de evidencias entre teléfono, visor y repositorio

Cuando una propuesta combina aplicación móvil y experiencia XR, la continuidad de la evidencia constituye un requisito curricular. La prueba parte de una predicción guardada en el teléfono, sigue su recuperación en el visor y termina con un informe visible para el docente. El sistema debe conservar autoría, fecha relativa de trabajo, versión del escenario y modificaciones realizadas. Un archivo sincronizado no demuestra por sí solo que represente la misma hipótesis o la misma condición que el estudiante manipuló.

Se ensayan conflictos de edición, duplicaciones y sesiones sin conexión. Al restablecer conectividad, la aplicación debe preservar ambas versiones o aplicar una política explícita de resolución, nunca sobrescribir silenciosamente evidencias evaluables. También se valida un procedimiento de exportación entendible sin software propietario específico. La aceptación combina comprobación técnica con revisión docente: los datos deben conservar integridad y seguir siendo legibles como argumento académico.

4.8.8. Control de datos sensibles en sesiones compartidas

Un visor institucional puede ser utilizado por muchos participantes durante una jornada. Esa condición obliga a revisar qué rastros quedan al cerrar sesión: respuestas, nombre de cuenta, anotaciones, historial de experiencias, permisos y recursos descargados. Se ejecuta una sesión de prueba con una identidad de ensayo y se verifica, desde otra sesión separada, si existe acceso no autorizado a su información. La revisión incluye pantallas de inicio, caché local, capturas y configuraciones de exportación.

La aplicación no debe recoger más datos de los necesarios para alcanzar objetivos pedagógicos definidos. Para detectar errores no es imprescindible registrar conversaciones privadas ni movimientos detallados de cada persona. Las políticas de retención y borrado se contrastan con la organización responsable y con las normas pertinentes; una función que promete eliminar datos solo se acepta cuando se verifica su efecto técnico. En un entorno compartido, la privacidad depende de procedimientos operativos además del código.

4.8.9. Fallo de seguimiento espacial en una tarea de precisión

Imaginemos una actividad que exige colocar una estructura sobre otra utilizando referencias del entorno físico. Si el seguimiento espacial cambia, la posición aparente del modelo puede desplazarse sin que la geometría educativa haya cambiado. La interfaz debe distinguir claramente una falla de localización de un error conceptual del estudiante. Durante la aceptación se prueban condiciones permitidas por el entorno de uso, variaciones razonables de iluminación y reinicios de la sesión, siempre evitando intervenciones inseguras.

El criterio principal no es que los objetos nunca se desplacen, sino que un cambio de referencia no produzca una evaluación injusta ni una medida ficticia. Si se pierde precisión, la actividad se pausa, advierte el estado y ofrece recalibración o modalidad alternativa. Los registros técnicos deben ayudar a comprender cuándo ocurrió el incidente sin generar vigilancia excesiva. Una calificación asociada a un objeto mal alineado se considera evidencia inválida hasta revisar el evento.

4.8.10. Manipulación de objetos con modos de entrada diferentes

Los usuarios pueden necesitar controladores, interacción manual, botones accesibles o una ruta no inmersiva. No todas las acciones deben implementarse de manera idéntica, pero sí resultar previsibles y cumplir la misma función. El equipo prepara operaciones críticas —seleccionar, girar, restablecer, comparar y confirmar— y comprueba sus equivalentes en los modos habilitados. Se examina en particular si un gesto de precisión es realmente parte del resultado curricular o constituye un obstáculo agregado por la interfaz.

La prueba de aceptación registra tareas que no pueden completarse, errores de selección y mensajes de recuperación. Si un estudiante no consigue agarrar un objeto por limitaciones de interacción, el sistema no debería atribuirle una explicación conceptual incorrecta. En actividades evaluadas, el modo de entrada se conserva como metadato técnico separado del puntaje de aprendizaje. Una experiencia bien diseñada reconoce cuándo la destreza motora es objetivo de formación y cuándo solo es un medio.

4.8.11. Despliegue con hardware compartido y versiones heterogéneas

Una institución suele disponer de equipos adquiridos en momentos diferentes. Antes de publicar una experiencia, conviene comprobar que recursos, escenas, instrucciones y permisos funcionan en cada configuración autorizada. Se prepara una matriz que distingue versión del sistema, modelo de visor, motor de desarrollo, modalidad de entrada y características esenciales. No se extrapola compatibilidad desde un video de demostración o una única instalación exitosa.

La aceptación define qué prestaciones son indispensables para cumplir el objetivo y cuáles pueden degradarse sin afectar validez. Un efecto visual prescindible puede reemplazarse; una representación científica que pierde un rasgo causal debe revisarse. Se documentan además mecanismos de actualización, instalación de emergencia y reversión a una versión anterior estable. El equipo docente recibe una versión identificable del material: eso evita que dos grupos sean evaluados con contenidos diferentes sin que nadie lo haya registrado.

4.8.12. Ensayo pedagógico completo antes de la primera clase

Un laboratorio funcional puede fracasar por logística: instrucciones demasiado largas, visores sin carga, equipos sin higienizar, transferencias de evidencia que requieren intervención constante o turnos que excluyen a parte del grupo. Por eso, la última prueba debe reproducir el flujo real desde la preparación del aula hasta el cierre de evaluación. Participan roles diferenciados: docente, persona técnica, observador y usuarios de ensayo, sin confundir el ejercicio de prueba con investigación de eficacia educativa.

El registro de aceptación identifica cuellos de botella, momentos de inactividad, dudas curriculares, barreras de acceso y tareas que el profesor no puede supervisar simultáneamente. Cualquier cambio posterior que afecte objetivos, controles o visualizaciones requiere volver a probar el tramo pertinente. El resultado esperado no es un certificado de que la tecnología «funciona», sino una decisión documentada sobre si la actividad puede utilizarse con seguridad, fidelidad científica y evidencias formativas válidas.

4.8.13. Revisión integral y criterio de liberación

La institución puede reunir las pruebas anteriores en una matriz con responsable, evidencia, gravedad y resolución. Conviene separar tres categorías de decisión: bloqueo por seguridad o integridad científica, corrección necesaria para confiabilidad de la enseñanza y mejora diferible que no modifica objetivos. Esta distinción evita que una interfaz vistosa o una presentación exitosa oculten problemas esenciales. También impide que el equipo posponga indefinidamente la publicación para perfeccionar elementos que no afectan el aprendizaje.

Una liberación responsable requiere concordancia entre versión técnica, guion de aula, materiales alternativos, política de datos y rúbrica. El cierre se realiza solo cuando los hallazgos críticos cuentan con resolución comprobada o cuando se ha retirado la función conflictiva. Al publicar, se conserva un registro de cambios, responsables y límites conocidos. La experiencia seguirá siendo revisable: la aceptación es una decisión contextual y fechada, no una garantía permanente ante nuevas plataformas, usuarios y escenarios.

CAPÍTULO V

CASO DE DISEÑO APLICADO: AULA CUENCA, APRENDIZAJE MÓVIL E INMERSIVO PARA RAZONAR SOBRE EL AGUA

5.1. DESCRIPCIÓN, PROBLEMA FORMATIVO Y LÍMITES DEL CASO

«Aula Cuenca» es una propuesta original de diseño tecnológico-pedagógico para estudiantes de educación superior que cursan asignaturas introductorias de ciencias ambientales, geografía, gestión del territorio o ingeniería. Su propósito es mejorar la capacidad de interpretar relaciones entre precipitación, pendiente, infiltración, escorrentía, actividades humanas y calidad del agua, mediante una secuencia articulada entre observación móvil, modelos espaciales en Meta Quest y discusión en el aula. No representa una intervención implementada ni un estudio con participantes observados. Las actividades, cifras de operación y protocolos que siguen son especificaciones de diseño para una futura evaluación; no se reportan muestras, porcentajes de mejora ni resultados estadísticos.

La dificultad formativa que motiva el caso es conceptual: una cuenca se representa comúnmente como un mapa plano, mientras sus procesos operan en distintas escalas espaciales y temporales. Quien observa un cauce puede no visualizar el relieve que lo alimenta, la variación de caudal, la infiltración subterránea o las consecuencias de una fuente de contaminación ubicada aguas arriba. También resulta difícil reproducir experimentalmente una inundación o un vertimiento real por razones éticas, materiales y de seguridad. La simulación inmersiva puede hacer visibles ciertas relaciones, pero no sustituye mediciones reales ni modelos hidrológicos validados para decisiones de ingeniería.

El producto combina tres componentes. La aplicación móvil «Aula Cuenca Campo» entrega consignas, guarda observaciones y predicciones, organiza evidencias y permite trabajar sin conexión. El módulo «Aula Cuenca XR» muestra una cuenca esquemática con cambios controlados de pendiente, cobertura vegetal, lluvia y fuentes de emisión, acompañados de señales de proceso y límites explícitos. El espacio de aula articula análisis, interpretación de incertidumbre y transferencia a nuevos problemas. Estos componentes responden a funciones diferentes; la calidad del diseño depende de su complementariedad.

La población prevista está definida por perfil educativo, no por un número inventado de participantes: estudiantes de cursos de introducción a las ciencias ambientales o afines, con conocimiento básico de ciclos naturales y alfabetización digital heterogénea. El pilotaje deberá definir criterios de inclusión, necesidades de accesibilidad, disponibilidad de equipos y expectativas docentes. Se recomienda elaborar una evaluación diagnóstica antes de asignar tareas a un nivel específico de complejidad. La selección de una sede, muestra o cohorte requiere un convenio real y no forma parte de esta propuesta conceptual.

5.1.1. Competencias y productos de aprendizaje

Se establecen cuatro competencias. La primera es representar y explicar procesos de una cuenca usando relaciones causales entre relieve, lluvia, cobertura y escorrentía. La segunda consiste en interpretar un conjunto de observaciones con unidades correctas, distinguiendo dato, inferencia e incertidumbre. La tercera exige justificar una decisión de mitigación con evidencia y reconocer costos o límites. La cuarta comprende colaborar en una indagación documentada y comunicar sus resultados en un informe breve. Cada competencia debe demostrarse en al menos dos soportes, uno de ellos no inmersivo, para que el manejo del visor no defina la calificación académica.

Competencia	Producto observable	Criterio central
Explicar sistemas	Diagrama causal comentado	Relaciones pertinentes y condiciones
Interpretar evidencia	Tabla de mediciones y notas	Unidades, consistencia e incertidumbre
Decidir con fundamento	Recomendación de intervención	Coherencia entre causa, evidencia y acción
Colaborar científicamente	Informe grupal con revisión	Trazabilidad de aportes y respuestas a objeciones

5.2. REQUERIMIENTOS PEDAGÓGICOS, FUNCIONALES Y TECNOLÓGICOS

El requisito principal de la app móvil es conservar evidencia verificable en situaciones de conectividad intermitente. Cada actividad muestra una consigna, un criterio de éxito y una explicación de los datos solicitados. El estudiante puede registrar una observación, agregar unidad, indicar fuente, corregir el registro y enviarlo cuando exista red. Una versión inicial puede ofrecer ingreso manual sin integrar sensores; esto evita suponer disponibilidad de equipos externos. La ubicación exacta se captura únicamente si una tarea y autorización justifican su uso.

El docente necesita un panel para organizar actividades, consultar evidencias y devolver comentarios por rúbrica. El sistema diferencia observaciones preliminares de entregas definitivas y conserva versiones. La exportación debe ofrecer formatos abiertos acompañados de diccionario de datos. Las notificaciones se limitan a cambios importantes en la actividad, evitando convertir un proyecto de indagación en un flujo de mensajes compulsivos. La visibilidad de una evidencia para el grupo se configura de manera deliberada, no se presupone pública.

El requisito principal de XR es permitir experimentar con relaciones cualitativas y cuantitativas limitadas, claramente identificadas. La escena muestra variables de precipitación, cobertura y pendiente como controles pedagógicos; su comportamiento se define mediante un modelo didáctico versionado y revisado por especialistas. Cuando no existan calibraciones hidrogeológicas reales, se evitan salidas que aparenten predicciones ingenieriles exactas. La interfaz distingue el modo «exploración conceptual» de cualquier sistema de modelación científica profesional.

El módulo inmersivo permitirá revisar un mapa de la cuenca desde arriba, cambiar escala, seleccionar puntos de observación, modificar una variable por vez, comparar dos estados y volver a un estado inicial. La interacción tendrá como mínimo una vía de selección con controlador y una alternativa accesible en modo pantalla; el seguimiento manual se considera opcional tras pruebas de usabilidad. Los resultados se registran como decisiones e interpretaciones, no como secuencias detalladas de movimiento de manos. La privacidad obliga a no almacenar cartografías domésticas ni imágenes del entorno físico cuando no aportan valor educativo.

5.2.1. Historias de usuario priorizadas

Código	Historia y valor	Aceptación verificable	Prioridad
AC-01	Guardar observación sin internet	Persiste tras cierre y muestra estado local	Alta
AC-02	Comparar hipótesis y resultado	Recupera ambos registros y conserva fecha	Alta
AC-03	Recorrer modelo espacial	Reorienta vista y permite salir de inmediato	Alta
AC-04	Ajustar una variable controlada	El modelo actualiza según regla documentada	Alta
AC-05	Revisar argumentos por criterios	Docente registra comentarios vinculados	Alta
AC-06	Exportar evidencias de aprendizaje	Archivo incluye diccionario y versiones	Media
AC-07	Alternativa no inmersiva	Mismo constructo evaluable desde pantalla	Alta
AC-08	Compartir escena multiusuario	Sincroniza estado con permisos y seguridad	Baja

5.2.2. Arquitectura de información y flujo

El recorrido móvil propuesto es: Inicio de módulo → Consigna → Predicción → Registro de observación → Revisión de evidencia → Comparación → Entrega → Retroalimentación. El menú permanente contiene accesibilidad, ayuda, estado de sincronización y salida. La escena XR parte de un menú de orientación, presenta un modelo general, abre controles de simulación y permite retornar al punto inicial sin

perder el registro de predicción. El sistema evita que el docente tenga que unir manualmente múltiples identificadores: la relación se realiza por código de actividad y no por datos personales visibles en la escena.

La app mantiene una base local cifrada cuando corresponde y una cola de cambios con identificadores únicos. El servidor valida permisos y versiones de modelos antes de integrar eventos. En un diseño de investigación, los datos académicos se almacenan de forma separada de la información de consentimiento y de la tabla de correspondencia de identidades. El plazo de conservación debe aprobarse antes del piloto. Una política de borrado y exportación constituye condición de operación, no tarea posterior al desarrollo.

5.3. SECUENCIA DIDÁCTICA INTEGRADA DE SEIS SESIONES

La propuesta incluye seis sesiones que pueden reorganizarse según duración de clases y disponibilidad de equipos. Los tiempos consignados en una implementación real deberán establecerse mediante ensayo de las actividades; no se presentan aquí como duraciones verificadas. En todas las sesiones se conserva el ciclo: propósito explícito, producción de evidencia, discusión y retroalimentación. La modalidad XR nunca es obligatoria para demostrar competencias cuando existe un impedimento de salud, acceso o discapacidad.

5.3.1. Sesión 1: modelos mentales iniciales y lectura de cuencas

El docente presenta dos mapas de relieve y solicita que los estudiantes predigan hacia dónde se desplazaría el agua tras una lluvia intensa. Cada participante marca divisorias de aguas y justifica su elección usando flechas, texto o audio accesible. La app móvil conserva versiones individuales para que puedan compararse al final del módulo. El propósito no es corregir inmediatamente todo error, sino localizar ideas iniciales útiles para organizar instrucción posterior. La discusión en grupos identifica supuestos que todavía no han sido comprobados.

Una actividad adicional invita a distinguir «cuenca», «cauce», «subcuenca», «infiltración» y «escorrentía» mediante una clasificación de ejemplos y contraejemplos. Se registra el nivel de certeza de cada respuesta, porque una conjetura acertada no

equivale a conocimiento consolidado. La intervención docente introduce el vocabulario imprescindible para comprender la escena XR, reduciendo carga cognitiva cuando los estudiantes se encuentren ante objetos tridimensionales.

5.3.2. Sesión 2: observación móvil y calidad de evidencia

Se entrega un conjunto de datos de práctica y, si existe autorización y condiciones adecuadas, se organiza una observación de campo. El estudiante registra fecha, variable, unidad, método y una nota sobre incertidumbre. Puede añadir una imagen sin elementos identificables cuando sea pertinente. La app distingue la observación del comentario interpretativo. Si no hay conectividad, los registros permanecen en el equipo hasta que puedan sincronizarse. No se requiere visitar un cauce real para cumplir esta actividad: el docente puede utilizar materiales documentados de dominio público.

La revisión colaborativa se centra en calidad de datos. Los grupos buscan unidades inconsistentes, ausencia de fuente, valores improbables y confusiones entre estimación y medida. Cada equipo corrige su propio registro y anota por qué cambió el dato. El objetivo es enseñar trazabilidad, no premiar a quien produce más fotografías o llena más campos. El docente conserva ejemplos de decisiones justificadas para discutirlas en el cierre de la sesión.

5.3.3. Sesión 3: inmersión y relaciones entre relieve y escorrentía

Antes de usar Meta Quest se realiza una orientación de controles y seguridad. La consigna científica solicita identificar al menos dos rutas posibles de escorrentía y explicar qué papel tiene la pendiente. En la escena, el estudiante observa un modelo 3D de cuenca, modifica una condición a la vez y compara el recorrido representado. Quien utiliza la alternativa de pantalla ejecuta los mismos cambios de modelo y responde a una rúbrica común. Los registros conservan predicción, condición modificada y justificación posterior.

La actividad no califica precisión del gesto ni velocidad de desplazamiento. La evaluación se realiza sobre relaciones causales identificadas y calidad de la explicación. Tras abandonar el visor, cada grupo discute una discrepancia entre la intuición inicial y

el comportamiento del modelo. El docente recuerda que la geometría y los parámetros son simplificaciones, no una representación exacta de un territorio real.

5.3.4. Sesión 4: cobertura vegetal, infiltración y escenario de riesgo

Los estudiantes reciben dos escenarios equivalentes salvo por la cobertura del suelo. Deben anticipar qué diferencias esperarían en infiltración, escorrentía superficial y riesgo localizado. La escena muestra el cambio de parámetros mediante una representación controlada; los participantes comparan y anotan si los resultados son compatibles con su hipótesis. El docente introduce el concepto de múltiples factores y evita presentar una variable aislada como explicación exhaustiva de un evento hidrológico.

Se incorpora una decisión con restricciones: proponer una intervención en una zona de riesgo considerando impactos y limitaciones. La respuesta se redacta en la app con estructura «evidencia—razonamiento—decisión». Una tabla de ventajas e inconvenientes ayuda a explicitar costos ambientales y sociales, evitando respuestas que atribuyan eficacia automática a una solución visualmente atractiva.

5.3.5. Sesión 5: fuentes de contaminación y argumentación científica

Un escenario introduce una fuente de contaminación hipotética y diferentes puntos de observación. El aprendiz propone rutas de transporte plausibles, localiza dónde esperaría encontrar cambios y explica qué datos adicionales solicitaría para verificar su interpretación. La simulación incorpora una advertencia sobre su carácter conceptual y no utiliza valores que aparenten medir un vertimiento real. Su función es entrenar razonamiento, no producir diagnósticos ambientales oficiales.

Los grupos intercambian argumentos y deben responder una objeción fundamentada. La app facilita relacionar cada afirmación con la evidencia que la respalda. Una respuesta científicamente valiosa puede reconocer incertidumbre y exigir una medición adicional. Este criterio reduce la tendencia a premiar únicamente decisiones rápidas y refuerza la distinción entre ver una simulación y conocer un fenómeno real.

5.3.6. Sesión 6: transferencia, comunicación y evaluación

La evaluación final presenta una cuenca distinta, con datos y restricciones que no reproduzcan el ejemplo practicado. El estudiante interpreta la información disponible, formula un diagnóstico provisional y elige una acción justificando consecuencias previstas y límites. La prueba puede resolverse sin visor para medir transferencia del razonamiento; XR puede ofrecerse posteriormente como exploración complementaria. La comparación con la evaluación inicial requiere instrumentos equivalentes en dificultad y criterios explícitos, no simplemente repetir las preguntas ya conocidas.

Cada equipo entrega un informe breve con descripción del problema, evidencias, inferencias, alternativas y limitaciones. Se solicita una reflexión personal acerca de qué aportó la app móvil, qué aportó la escena inmersiva y qué habría sido posible sin ambas. Esta pregunta no pretende recoger testimonios promocionales: ayuda a identificar cuándo el medio contribuyó realmente al aprendizaje y cuándo añadió complejidad.

5.4. INSTRUMENTOS PROPUESTOS PARA EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN

5.4.1. Rúbrica analítica de razonamiento científico

La rúbrica utiliza cuatro dimensiones y cuatro niveles descriptivos. Los números que se asignen en un pilotaje constituyen puntuaciones del instrumento, no resultados observados de participantes. Su validez de contenido deberá examinarse con docentes y expertos, y su confiabilidad entre evaluadores necesitará comprobarse antes de utilizarse para investigación.

Dimensión	Inicial	En desarrollo	Logrado	Avanzado
Modelo causal	Enumera elementos aislados	Propone relación parcial sin condiciones	Explica relaciones pertinentes	Integra relaciones, condiciones y límites
Uso de evidencia	Afirma sin fuente o unidad	Cita datos incompletos	Usa datos relevantes y unidades correctas	Contrasta fuentes y examina incertidumbre
Decisión argumentada	Elige sin justificar	Vincula acción con un dato aislado	Justifica con evidencia y consecuencias	Compara alternativas y riesgos razonados
Reflexión científica	Confunde simulación con realidad	Reconoce alguna simplificación	Identifica límites relevantes	Propone verificación empírica factible

El equipo docente debe elaborar ejemplos ancla de cada nivel y verificar que los descriptores distinguen desempeños. Una aplicación puede mostrar criterios y recibir comentarios, pero no atribuir por sí misma una valoración científica integral sin validación.

5.4.2. Instrumento de experiencia de usuario

El cuestionario de percepción es complementario a pruebas objetivas. Puede incluir ítems sobre claridad de consignas, facilidad para recuperar el control, legibilidad, confianza en el guardado, sensación de comodidad y utilidad percibida del medio para explicar el fenómeno. Se recomienda utilizar escalas coherentes y permitir una opción de no respuesta cuando corresponda. Los resultados no deben denominarse «efectividad del aprendizaje» por sí solos. Antes de utilizarlos en una publicación, las preguntas requieren revisión por expertos y prueba piloto de interpretación.

Ítem propuesto	Constructo	Interpretación cautelosa
Pude identificar la siguiente acción sin ayuda	Claridad de interfaz	No mide competencia disciplinar
Comprendí qué datos estaban guardados	Confianza operativa	Depende de mensajes de estado
Pude detener o cambiar el modo de interacción	Control y accesibilidad	Requiere verificación conductual
La representación me ayudó a formular una explicación	Utilidad percibida	No demuestra transferencia
Sentí incomodidad durante la actividad	Confort	Debe activar protocolo de atención
Pude realizar la tarea con los apoyos disponibles	Acceso efectivo	Identifica posibles barreras

5.4.3. Guion de observación no intrusiva

El observador registra exclusivamente eventos pertinentes: necesidad de orientación adicional, fallo de entrada, confusión entre dato y parámetro, interrupción por incomodidad, pérdida de evidencia y recuperación exitosa. No se recomienda grabar indiscriminadamente el entorno físico ni identificar personas sin fundamento. Los incidentes de salud o seguridad requieren tratamiento confidencial y una ruta de atención. Un observador no debe intervenir en la tarea cognitiva salvo para prevenir riesgos o según reglas de ayuda definidas previamente.

Se distinguen errores de interfaz, errores de procedimiento y errores conceptuales. La diferencia resulta esencial. Si el estudiante no puede girar el modelo, el problema puede estar en el control; si modifica simultáneamente dos variables contra la consigna, quizá falte una restricción de interacción; si interpreta una ruta causal de modo incorrecto tras usar correctamente el sistema, la dificultad puede ser formativa. Un rediseño efectivo no aplica la misma solución a las tres situaciones.

5.4.4. Protocolo de evaluación de aprendizaje

El diseño propuesto contempla medición diagnóstica, intervención, evaluación inmediata y prueba diferida de transferencia. Si las condiciones institucionales lo permiten, puede compararse una secuencia que integra móvil y XR con una alternativa que use móvil y modelos no inmersivos, manteniendo objetivos, contenidos y tiempo de práctica lo más equivalentes posible. La asignación a grupos, el tamaño muestral y el

análisis estadístico deben definirse con un plan de investigación real y, si procede, cálculo de potencia. No se propone aquí ninguna muestra ficticia ni coeficiente esperado.

Las variables primarias podrían incluir desempeño en una rúbrica de transferencia y precisión conceptual evaluada con ítems validados. Las variables secundarias pueden incluir carga cognitiva percibida, errores operativos, percepción de utilidad, confort, asistencia requerida y costo por estudiante. Las definiciones deben registrarse antes de observar resultados. Un resultado nulo también sería informativo: podría indicar que la inmersión no aporta una ventaja en ese contexto o que su implementación introdujo fricciones que neutralizaron el beneficio esperado.

5.5. GESTIÓN DE RIESGOS, SOSTENIBILIDAD Y ENTREGABLES DEL PROTOTIPO

El riesgo más inmediato es confundir el modelo didáctico con una predicción ambiental. Todo escenario debe declarar sus supuestos, fecha de revisión y límites de generalización. La comprobación por especialistas del área evita introducir relaciones simplificadas que conduzcan a conclusiones erróneas. Un segundo riesgo es la dependencia de visores que no estén disponibles para toda la cohorte; la alternativa de pantalla y la rotación de estaciones preservan el aprendizaje. El tercero es la pérdida de datos por sincronización: las pruebas de persistencia y exportación deben preceder al piloto con estudiantes.

La gestión de seguridad incorpora verificación de espacio, supervisión, pausas y acceso a salida inmediata. No se obliga a nadie a permanecer en el visor cuando manifiesta incomodidad. La privacidad se aborda mediante seudonimización, mínima recolección, separación de registros y políticas de retención previamente aprobadas. La accesibilidad se comprueba con tareas equivalentes y observación de usuarios diversos; no basta marcar una casilla institucional.

Riesgo	Señal de alerta	Medida de prevención	Respuesta prevista
Sobreinterpretación del modelo	Estudiante atribuye valor real a una escena conceptual	Mostrar supuestos, unidades y advertencias	Debate con datos reales y revisión del guion
Incomodidad en XR	Desorientación, fatiga o solicitud de parar	Orientación, confort y pausas	Suspender visor y ofrecer alternativa
Exclusión por acceso	Estudiante no puede usar dispositivo	Diseño multimodal y rotación	Evaluar misma competencia en otro soporte
Pérdida de registros	Estado de sincronización ambiguo	Persistencia local, UUID e idempotencia	Recuperar versión y documentar incidente
Error científico	Regla produce resultado incoherente	Pruebas de dominio y revisión experta	Retirar módulo hasta corregir
Dependencia del proveedor	SDK o visor deja de ser compatible	Arquitectura modular y exportaciones	Activar alternativa no inmersiva

El caso se considera suficientemente especificado para iniciar un prototipado, no para afirmar eficacia. Los entregables mínimos son: mapa curricular y matriz de competencias, guiones de seis sesiones, prototipo navegable móvil, escena XR con modelo revisado, catálogo de pruebas, rúbrica, cuestionario, protocolo de observación, inventario de datos y plan de evaluación. Cada artefacto necesita versión, autoría responsable y fecha de revisión cuando se incorpore a un proyecto institucional.

La transferencia del método a otras disciplinas puede conservar la lógica sin copiar el contenido. En formación sanitaria, la escena podría representar una secuencia de triage no invasiva; en patrimonio, una reconstrucción histórica señalada como hipotética; en ingeniería, el análisis de un ensamblaje. Los modelos científicos y los riesgos cambiarían por completo. La parte reutilizable es la relación explícita entre objetivo, medio, interacción, evidencia y prueba de valor.

5.5.1. Plan de evaluación de contenido científico y experiencia digital

La revisión del prototipo propuesto debe preceder cualquier exposición de estudiantes. Se separa un panel científico de uno tecnológico y de un grupo de revisión pedagógica. El primer equipo verifica unidades, supuestos, comportamiento conceptual de las variables y terminología. El segundo examina recuperación de datos, compatibilidad, accesibilidad, errores y seguridad. El tercero comprueba que cada consigna provoque el desempeño esperado y que la respuesta pueda valorarse sin

depender de destreza instrumental. Ninguno de estos controles equivale a una estimación empírica de eficacia educativa.

Una matriz de trazabilidad conecta el objetivo «explicar cómo una cobertura vegetal distinta puede modificar la respuesta hidrológica» con la actividad de predicción, el control de cobertura, el registro comparativo, una rúbrica causal y una prueba de transferencia. Si falta el último enlace, podría construirse una demostración llamativa sin una medida de aprendizaje. Si falta el registro, sería difícil observar si el estudiante cambió de explicación. Si falta la revisión científica, el modelo podría mostrar una consecuencia incoherente y enseñar un error.

Identificador	Requisito	Prueba técnica	Prueba pedagógica
R-01	Crear predicción antes de experimentar	No se pierde al cambiar de modo	El estudiante explica por qué la formuló
R-02	Variar un solo factor por operación	Control deshabilita cambios simultáneos	Identifica factor modificado y otros constantes
R-03	Mostrar supuestos del modelo	Texto local disponible sin red	Distingue modelo conceptual de medición real
R-04	Comparar estados	Dos estados permanecen recuperables	Identifica diferencias y causa plausible
R-05	Permitir respuesta accesible	Funciona con teclado y alternativa 2D	El mismo constructo puede evaluarse
R-06	Recuperar datos locales	Reinicio y sincronización no duplican	La evidencia mantiene integridad y autoría
R-07	Registrar versión de escenario	Exportación incluye código de versión	Dos grupos pueden comparar condiciones
R-08	Detener experiencia	Salida inmediata desde toda escena	No penaliza una interrupción por seguridad
R-09	Revisar argumento	Comentario queda vinculado a rúbrica	La revisión explica su nueva decisión
R-10	Eliminar datos según política	Borrado verificado en entorno de ensayo	Participante entiende sus opciones

5.5.2. Banco de problemas de transferencia para Aula Cuenca

Los problemas siguientes constituyen materiales de autoría original para una futura implementación. No contienen datos observados en ninguna institución. Sus condiciones se formulan como escenarios hipotéticos que permiten razonar; los valores numéricos, cuando se incorporen en una plataforma real, deben validarse con especialistas y acompañarse de unidades. Cada actividad se evalúa por la explicación y los límites reconocidos, no por elegir una imagen que parezca correcta.

Problema 1. Lluvia semejante, respuesta diferente

Dos laderas reciben una lluvia representada con idéntica intensidad en el modelo, pero una posee cobertura vegetal y la otra suelo expuesto. Antes de iniciar la simulación, el estudiante explica cuál considera más propensa a generar escorrentía superficial y qué condiciones podrían modificar su pronóstico. Durante la exploración solo cambia el parámetro de cobertura. La comparación debe distinguir una relación ilustrativa de una predicción universal, porque el estado del suelo, la pendiente y otras variables no han sido medidas.

La evidencia exigida es una tabla de dos escenarios, una explicación causal y una propuesta de datos que harían falta para transferir el análisis a un terreno real. Una respuesta avanzada evita frases absolutas como «la vegetación siempre impide inundaciones» y plantea supuestos verificables. La alternativa no inmersiva muestra los mismos parámetros y permite navegar la cuenca mediante pantalla.

Problema 2. El mismo cauce visto desde dos escalas

Un equipo observa un cauce desde una vista cercana y otro analiza la cuenca completa. Ambos deben explicar por qué la interpretación de una zona de riesgo puede cambiar al incluir tributarios y relieve aguas arriba. La tarea comienza con dos mapas sin nombres de lugares reales y continúa con una maqueta espacial que permite pasar entre escalas. Los estudiantes registran qué información aparece o desaparece en cada representación.

La evaluación requiere un croquis anotado que conecte el fenómeno local con el sistema más amplio. El criterio de excelencia no es la cantidad de zonas marcadas, sino la justificación de relaciones entre ellas. Se examina también el riesgo de interpretar un detalle visual como dato real cuando es producto de la simplificación gráfica.

Problema 3. Una medición sin unidad

El registro móvil de una muestra hipotética contiene un número pero omite la unidad. El estudiante identifica por qué ese dato no puede compararse con otro, propone un procedimiento de verificación y decide si debe conservarse, corregirse o excluirse de un análisis. La aplicación muestra cómo documentar una corrección sin borrar la versión original y cómo señalar valores no interpretables.

La respuesta se valora por prudencia metrológica y trazabilidad. Asignar una unidad por intuición se considera un error; anotar «unidad desconocida» y solicitar revisión conserva la integridad del conjunto. La escena XR no es necesaria en este ejercicio y esa ausencia deliberada enseña a seleccionar la herramienta apropiada.

Problema 4. El cambio simultáneo de dos variables

Una persona aumenta precipitación y reduce cobertura antes de observar una variación de escorrentía. Se le solicita explicar por qué no puede atribuir el resultado a una sola variable. Posteriormente reinicia el modelo y construye una comparación controlada, modificando un factor por vez. El móvil conserva ambos intentos y el argumento sobre la diferencia entre observar asociación y aislar un efecto.

La actividad puede ampliarse al diseño de una pequeña matriz factorial conceptual. Su evaluación se apoya en reconocimiento de condiciones constantes, comparación válida y límites del experimento representado. Los estudiantes no deben recibir un mensaje automático de «incorrecto» sin conocer qué supuesto de control fue violado.

Problema 5. Observación y explicación de una mancha de color

Un mapa utiliza color rojo para indicar una concentración hipotética más alta. Algunos estudiantes concluyen que el agua sería literalmente roja. La intervención exige interpretar la leyenda, identificar la variable codificada y distinguir representación de apariencia física. El profesor presenta otras dos escalas cromáticas para el mismo fenómeno y solicita comentar cómo podrían cambiar impresiones sin modificar los datos.

El producto evaluable es una explicación de la convención gráfica y una recomendación de visualización accesible que no dependa solo del color. En la escena inmersiva deben existir etiquetas, valores o patrones alternativos. Se evita equiparar intensidad visual con peligro real sin un umbral validado.

Problema 6. Una ruta de muestreo incompleta

El equipo propone medir calidad del agua solo en un punto situado aguas abajo de una fuente hipotética. El reto consiste en justificar qué observaciones complementarias permitirían comparar condiciones y buscar explicaciones alternativas. Los estudiantes colocan puntos de muestreo sobre un modelo esquemático y redactan una defensa de su ubicación. Se advierte que el modelo no resuelve problemas reales de diseño muestral por sí solo.

La rúbrica valora coherencia entre pregunta, selección de puntos, frecuencia propuesta y posibles fuentes de variación. Una respuesta de nivel avanzado discute límites temporales, seguridad de acceso y comparabilidad. No se exige recolectar agua real para demostrar razonamiento metodológico.

Problema 7. Contradicción entre fotografía y tabla

Una imagen didáctica parece mostrar agua transparente, mientras una tabla indica una variable de calidad fuera de un rango previamente definido. El estudiante explica por qué la apariencia visual puede ser insuficiente para inferir ciertas propiedades y qué instrumentos o análisis se necesitarían. La actividad contrapone evidencia cualitativa y cuantitativa sin obligar a concluir que una de ellas es falsa.

El informe debe clasificar qué afirmaciones están respaldadas, cuáles son hipótesis y qué procedimientos permitirían resolver la incertidumbre. La evaluación recompensa no sobreinterpretar una imagen. El sistema debe presentar fuentes y fechas de ambas piezas de información, aun si son ficticias para fines didácticos.

Problema 8. Dato atípico conservado

Una serie de medidas de ejemplo contiene un registro muy diferente del resto. La aplicación pide revisar unidad, instrumento y condiciones antes de decidir cómo representarlo. El estudiante compara un gráfico con y sin ese punto, pero el sistema conserva la observación original y exige justificar toda exclusión. El énfasis está en la integridad de datos y en las consecuencias de alterar un conjunto de manera oportunista.

La evaluación incorpora un nuevo conjunto con un patrón diferente para comprobar transferencia. Una respuesta sólida reconoce que un valor extremo puede representar error, fenómeno real o evento no explicado y propone comprobaciones específicas antes de decidir.

Problema 9. Conflicto entre objetivos de mitigación

Un escenario presenta alternativas hipotéticas para reducir daños por escorrentía, con restricciones de presupuesto, uso del suelo y acceso comunitario. El estudiante propone una combinación y fundamenta qué riesgos atiende y cuáles permanecen. La escena espacial ayuda a localizar relaciones, mientras la app móvil organiza una matriz de decisiones. Los valores son conceptuales y no constituyen evaluación económica de un territorio real.

La rúbrica valora coherencia causal, reconocimiento de compensaciones y tratamiento respetuoso de actores afectados. Se rechaza asignar una única solución automática cuando los criterios incluyen valores sociales legítimamente discutibles. El trabajo se completa con debate y revisión argumentativa.

Problema 10. La lluvia acumulada no explica todo

Dos episodios de lluvia hipotéticos poseen igual cantidad acumulada pero distinta distribución temporal. El grupo analiza por qué el patrón de intensidad puede influir en la respuesta del sistema y propone una forma de representar esa diferencia. El móvil presenta una serie temporal; el visor permite observar una consecuencia cualitativa previamente especificada.

El producto final es un gráfico comparativo con interpretación de unidades temporales. Una explicación avanzada reconoce que los resultados dependen de condiciones iniciales, suelo y parámetros del modelo. No se deben introducir umbrales universales sin respaldo científico.

Problema 11. Incertidumbre en una divisoria de aguas

Un modelo de relieve simplificado muestra una zona casi plana donde la separación entre rutas es difícil de interpretar. El estudiante localiza la ambigüedad y propone qué resolución cartográfica o medición adicional podría mejorar la delimitación. La actividad enseña a identificar límites de datos, no a presentar la cartografía 3D como solución infalible.

La evaluación se apoya en una justificación técnica sobre resolución, escala y sensibilidad de la interpretación. El modo accesible ofrece curvas de nivel y una descripción textual para que la tarea no dependa exclusivamente de profundidad visual.

Problema 12. Transferencia a una cuenca desconocida

Después de trabajar con un modelo esquemático, el estudiante recibe otro territorio ficticio con una disposición diferente de pendientes y tributarios. Debe trazar relaciones probables y explicar dónde esperaría cambios ante una intervención. El escenario no repite la posición de los objetos de entrenamiento para evitar que un acierto se obtenga por memoria espacial de botones.

La prueba se realiza sin visor para separar transferencia conceptual de familiaridad de interfaz. Los criterios consideran consistencia causal, uso de

información relevante y reconocimiento de incertidumbre. La dificultad debe pilotarse antes de comparar resultados entre grupos.

Problema 13. Interpretación de un registro duplicado

La aplicación muestra dos entradas idénticas después de una interrupción de red. Un equipo debe decidir cómo verificar si representan dos observaciones o un mismo envío repetido. El ejercicio introduce identificadores únicos y trazabilidad sin exigir conocimientos avanzados de bases de datos. Los estudiantes explican cómo una duplicación no detectada puede alterar una conclusión sobre frecuencia de eventos.

La evidencia final es una decisión documentada y una regla de prevención. No se permite borrar registros de manera irreversible en el ejercicio; se conserva el historial para revisar cómo se detectó y resolvió el problema.

Problema 14. Fuentes con fechas distintas

Un mapa contiene información de cobertura vegetal de un periodo anterior y una imagen reciente muestra cambios. El estudiante identifica el riesgo de combinar ambos registros como si fueran contemporáneos y propone una estrategia para informar esa limitación. La escena XR puede ofrecer capas temporales etiquetadas; el móvil reúne fechas y procedencia de cada fuente.

La rúbrica valora reconocimiento de temporalidad, transparencia y límites de inferencia. El ejercicio evita afirmar que un cambio observado es causa de otro sin datos suficientes. La tarea es particularmente útil para formar criterio antes de construir una simulación.

Problema 15. Revisión por pares de una hipótesis causal

Dos grupos formulan explicaciones diferentes para un mismo fenómeno simulado. Deben intercambiar preguntas que puedan comprobarse con parámetros o datos disponibles, no emitir juicios sobre las personas. La app registra crítica, respuesta y revisión. El docente supervisa que cada observación distinga evidencia, razonamiento e incertidumbre.

El producto es una versión argumental revisada que cite la objeción atendida. La evaluación reconoce mejoras sustantivas, incluso si la hipótesis original se descarta. El sistema no asigna automáticamente puntuaciones sociales por popularidad de una respuesta.

Problema 16. Desajuste entre escala visual y unidad física

Un modelo exagera la altura vertical para facilitar la observación de pendientes. El estudiante recibe la tarea de identificar la distorsión, explicar su intención pedagógica y discutir qué interpretaciones podrían verse afectadas. La interfaz ofrece una opción para comparar la exageración con una escala declarada, evitando ocultar el cambio.

La evidencia final exige señalar cómo se comunicará esa convención en un informe científico. El criterio central es interpretar representaciones, no calcular medidas reales a partir de una escena que no conserva proporciones geométricas exactas.

Problema 17. Accesibilidad de una decisión espacial

Una consigna original depende de distinguir pequeñas señales por color y de alcanzar un control situado fuera de una zona cómoda. Un equipo rediseña la interacción para permitir selección mediante lista, contraste legible y posición sentada. Debe mantener intacta la pregunta científica y demostrar que la alternativa produce evidencia evaluable con la misma rúbrica.

El producto es una especificación de accesibilidad y una prueba de aceptación. La discusión distingue equivalencia de aprendizaje de identidad sensorial. No se asume que un rediseño es accesible solo porque sus diseñadores lo consideren intuitivo; se requiere revisión con usuarios.

Problema 18. Fallo de sincronización antes de entregar

Una actividad móvil se completa sin conexión y un aviso ambiguo induce a pensar que la evidencia fue enviada. Los estudiantes actúan como revisores del producto: especifican estados de interfaz, mensajes y condiciones para presentar

confirmación de entrega. El ejercicio conecta ingeniería de software con confianza académica y permite comprender cómo un error técnico puede afectar justicia evaluativa.

La prueba esperada incluye reinicio del teléfono, recuperación local, transmisión repetida y confirmación del servidor sin duplicación. La evaluación se enfoca en reglas observables y posibilidad de reparación, no en estética del mensaje de carga.

Problema 19. Uso de una fotografía no autorizada

Un registro de campo contiene una imagen con personas identificables que no son necesarias para la tarea. El estudiante propone cómo sustituirla, recortarla o describir el fenómeno sin conservar datos ajenos. También debe determinar si la imagen ya fue compartida y qué pasos de corrección serían apropiados según la política institucional.

La rúbrica considera minimización, comunicación responsable e integridad de evidencia. No se emplean fotos reales de terceros sin autorización para realizar el ejercicio. El caso demuestra que la calidad científica incluye una práctica ética de recolección.

Problema 20. Evaluación de un argumento demasiado seguro

Una respuesta afirma que una intervención eliminará por completo cualquier inundación futura. Los compañeros identifican variables no examinadas y redactan una versión calibrada que distinga expectativa, condición y límite. La app permite comparar ambas formulaciones. El docente enfatiza que la claridad científica no exige incertidumbre vaga, sino precisión sobre lo que el modelo puede justificar.

El producto es una explicación revisada con al menos un supuesto comprobable y una propuesta de seguimiento. No se recompensa la acumulación de cautelas, sino su pertinencia para la decisión.

Problema 21. Comparación de dos versiones del modelo

Una escena ha cambiado la regla didáctica que vincula cobertura y respuesta superficial. El estudiante recibe dos resultados y debe revisar cuál versión se utilizó, qué supuesto cambió y por qué las conclusiones no pueden compararse sin contexto. La tarea sirve para enseñar trazabilidad de modelos y relevancia de metadatos.

La evaluación solicita elaborar una nota de revisión que incluya versión, alcance del cambio y efecto sobre un análisis anterior. Se evita convertir una actualización de software en una «nueva verdad científica» sin revisión especializada.

Problema 22. Datos ausentes y decisión provisional

El grupo necesita recomendar una ubicación para tomar muestras, pero el conjunto de datos carece de información sobre un tributario importante. Debe indicar qué decisión puede tomarse provisionalmente y qué evidencia falta antes de comprometer recursos. La escena muestra el área sin completar artificialmente las variables desconocidas.

La rúbrica distingue ausencia de dato y valor cero, un error conceptual frecuente. Una respuesta sólida prioriza mediciones adicionales y explica el costo de decisiones bajo incertidumbre sin fingir exactitud.

Problema 23. Colaboración entre disciplinas

Estudiantes de ingeniería, educación y ciencias ambientales reciben el mismo escenario desde responsabilidades distintas. El primer grupo revisa consistencia del modelo, el segundo diseña la actividad y el tercero verifica conceptos científicos. Cada participante registra decisiones y objeciones vinculadas a una matriz común. El objetivo no es que todos programen, sino que comprendan cómo diferentes criterios determinan la calidad final.

El producto es una propuesta consensuada que reconoce desacuerdos pendientes. Se evalúa claridad del razonamiento y capacidad de integrar perspectivas sin ocultar conflictos técnicos o pedagógicos.

Problema 24. ¿Cuándo no utilizar Meta Quest?

El alumnado recibe tres objetivos: memorizar vocabulario hidrológico, comparar un perfil longitudinal y explorar una cuenca a escala. Debe seleccionar el medio menos complejo que permita lograr cada resultado, justificando por qué la inmersión sería innecesaria en determinadas tareas. El escenario muestra alternativas de lectura, tabla, gráfico, modelo en pantalla y visor.

La evaluación valora proporcionalidad de decisiones y consideración de accesibilidad y costo. El criterio de éxito no es recomendar Quest, sino construir una justificación coherente entre necesidad y medio. Esta actividad sintetiza el enfoque tecnológico crítico del libro.

5.5.3. Plantilla de ficha técnica para cada escenario

Cada escenario que se implemente debe poseer una ficha versionada con identificador, pregunta científica, variables, unidades, representación, supuestos, evidencia requerida y límites. La ficha especifica también control de entrada, alternativa accesible, condición de finalización, mensajes de error y responsable de revisión disciplinar. Los desarrolladores necesitan un ejemplo de dato correcto y otro inválido para probar reglas; los docentes necesitan respuestas ancla para calibrar la rúbrica; la institución necesita conocer permisos y retención.

Campo de ficha	Contenido que debe documentarse
Identidad	Código, título, versión y responsable
Resultado	Desempeño cognitivo que se observará
Fenómeno	Entidades, variables, unidades y supuestos
Representación	Escala, colores, exageraciones y convenciones
Interacción	Controles, secuencia y posibilidad de deshacer
Evidencia	Respuesta, argumento, comparación y formato de exportación
Accesibilidad	Equivalente en pantalla, texto alternativo, opción de control
Seguridad	Riesgos físicos, digitales y criterios de interrupción
Calidad	Pruebas técnicas, revisión científica y prueba de usuario
Gestión	Responsable, vigencia, dependencia y plan de retirada

5.5.4. Protocolo de entrevista docente antes del desarrollo

La entrevista semiestructurada debe indagar qué errores conceptuales se repiten, cómo se detectan actualmente, qué recursos dispone la institución y qué restricciones afectarán la implementación. Es importante pedir ejemplos de producciones estudiantiles anonimizadas y comprender cómo el docente decide que una explicación es suficientemente buena. No debe inducirse al entrevistado a elogiar el visor o a imaginar funcionalidades que todavía no ha utilizado.

Un guion puede incluir preguntas sobre actividades que los estudiantes no logran completar, representaciones difíciles de interpretar, instrumentos de evaluación actuales, alternativas con menor costo y situaciones donde la tecnología estaría contraindicada. Otra sección explora conectividad, accesibilidad, calendario, soporte, protección de datos y posibilidades de trabajo grupal. La entrevista concluye solicitando al docente una prioridad concreta que podría ser resuelta por un prototipo sencillo.

Los resultados se analizan como necesidades y restricciones expresadas, no como prueba de eficacia de una solución. Las categorías interpretativas se documentan, se conserva la diferencia entre observación y recomendación y se revisan contradicciones antes de convertirlas en requisitos de software.

5.5.5. Pruebas de aceptación del circuito móvil—XR—móvil

La integración debe ensayarse desde un caso completamente nuevo, sin reutilizar sesiones de desarrollo. El evaluador crea una predicción en móvil, desconecta el dispositivo, registra una corrección, inicia la escena XR con un código de actividad, modifica una variable, abandona de forma segura y recupera la evidencia para elaborar un argumento. Se verifica que la predicción inicial no quede sobrescrita, que los valores estén asociados al escenario correcto y que la exportación permita reconstruir la secuencia.

Un segundo ensayo produce fallas deliberadas: se repite un envío, se cierra la app antes de sincronizar y se intenta abrir una actividad con versión distinta. El resultado esperado no es ausencia absoluta de errores, sino recuperación sin pérdida silenciosa y mensajes comprensibles. La misma prueba se repite en un dispositivo de características modestas y con funciones de accesibilidad activadas.

En una tercera condición se utiliza únicamente la versión no inmersiva para comprobar equivalencia de objetivos y rúbricas. La comparación no debe favorecer artificialmente al visor mediante una consigna más rica. Si la alternativa de pantalla carece de información necesaria para resolver el problema, el diseño no es inclusivo todavía.

5.5.6. Plan de análisis para una evaluación futura

Un protocolo registrado antes de recolectar datos debe definir resultado primario, criterios de inclusión, hipótesis, mecanismos esperados, grupos o condiciones de comparación, tratamiento de pérdidas y decisiones ante observaciones atípicas. La elección de prueba estadística depende de la escala, distribución, diseño y tamaño muestral efectivos; no corresponde asignar un coeficiente ni un valor p en esta fase conceptual. En estudios cualitativos se definen preguntas, estrategias de muestreo, guías, métodos de codificación y criterios de rigor antes de producir interpretaciones.

La interpretación debe distinguir mejora dentro de cada grupo de diferencias entre modalidades. También hay que separar mayor tiempo de práctica de un posible efecto específico de inmersión. Los análisis de subgrupos requieren justificación y

tamaños suficientes; una aparente diferencia entre usuarios con experiencias tecnológicas distintas no debe generalizarse desde unos pocos casos. Los resultados adversos, incomodidades e incidentes técnicos se reportan junto con hallazgos favorables.

La presentación final debe incluir diagrama de participación, versiones de software, condiciones de uso, instrumentos completos, procedimientos de seguridad, limitaciones y acceso responsable a materiales reproducibles. Un dato ausente se declara ausente. La transparencia es especialmente relevante en innovaciones donde los proveedores comerciales tienen intereses legítimos, pero diferentes de los objetivos de una investigación educativa independiente.

5.5.7. Instrumentos específicos para validar la experiencia Aula Cuenca

Los instrumentos descritos a continuación son propuestas de diseño y deben someterse a revisión antes de emplearse en investigación real. Se presentan con objetivos, reglas de administración y límites de interpretación para evitar que un cuestionario construido como ejercicio se trate automáticamente como una escala validada. Las versiones finales, instrucciones a evaluadores y criterios de exclusión tendrían que registrarse en el protocolo de estudio de la institución correspondiente.

Instrumento A: comprensión causal. La prueba presenta tres situaciones de cuenca con variables explícitas y solicita explicar una relación, predecir una consecuencia y señalar una condición que podría cambiarla. Las respuestas se valoran con rúbrica analítica por evaluadores calibrados. Una respuesta correcta aislada no demuestra dominio de razonamiento causal; por ello las preguntas exigen justificar el mecanismo. Las variantes de pretest y postest deben ser equivalentes en dificultad sin repetir exactamente las escenas practicadas.

Instrumento B: calidad de observación. Un conjunto de registros ficticios contiene problemas de unidad, fecha, fuente, incertidumbre o duplicación. El estudiante identifica la falla, propone corrección y explica su efecto en un análisis. Esta tarea mide juicio sobre evidencia y no conocimiento enciclopédico sobre una cuenca específica. El sistema conserva las versiones de datos para mostrar decisiones y no permite corregir un registro sin documentar el motivo.

Instrumento C: transferencia espacial. Se utiliza un relieve no incluido en el entrenamiento y se pide reconocer divisorias, trayectorias probables y relaciones entre zonas. La administración final puede ser en papel, pantalla o un modelo 3D no inmersivo para reducir dependencia de controles. Los especialistas deben revisar que los elementos representados sean suficientes para responder y que la geometría no produzca pistas involuntarias diferentes entre grupos.

Instrumento D: argumentación de decisiones. Una situación de gestión incluye restricciones ambientales, presupuestarias y sociales. Se exige comparar alternativas y justificar una decisión provisional reconociendo incertidumbre. No existe una respuesta única cuando los criterios son legítimamente discutibles; la rúbrica valora consistencia, calidad de evidencia y consideración explícita de consecuencias. Los evaluadores necesitan ejemplos ancla para evitar que preferencias personales determinen la calificación.

Instrumento E: carga de interacción. Durante una prueba de usuario se registran necesidades de ayuda, acciones fallidas, reinicios, confusiones entre controles y dificultades para recuperar orientación. Estos eventos se clasifican como barreras operativas, no como fallas de inteligencia o motivación. Un cuestionario breve sobre esfuerzo percibido puede complementar el registro, siempre que se diferencie esfuerzo cognitivo de manejo del dispositivo y no se use para inferir un diagnóstico individual.

Instrumento F: confort y seguridad. Una lista de observación permite registrar interrupciones solicitadas, necesidad de pausa, dificultad de desplazamiento y uso de salidas. Las respuestas de malestar se atienden de acuerdo con un protocolo de seguridad; no se prolonga una sesión para completar datos. Los registros pueden guardarse con identificadores limitados y acceso restringido. Una experiencia que produce incomodidad frecuente debe rediseñarse antes de continuar, incluso si algunos participantes reportan satisfacción.

Instrumento G: accesibilidad funcional. Se propone una serie de tareas equivalentes por modalidades: leer consigna, seleccionar variable, comparar estados, enviar explicación y abandonar. Se observa si usuarios con necesidades diversas pueden completarlas mediante controles disponibles. La revisión debe involucrar personas y

especialistas pertinentes; no basta una inspección automatizada. Los resultados se documentan como barreras específicas y medidas correctivas, no como calificaciones generales de discapacidad.

Instrumento H: fidelidad de implementación docente. Un observador registra si se formularon predicciones antes de la escena, si se explicaron supuestos, si hubo oportunidad de debriefing y si los criterios de evaluación se aplicaron de manera consistente. Esta observación permite interpretar diferencias entre grupos: una experiencia con mayor apoyo docente no representa únicamente un cambio de dispositivo. La herramienta necesita definiciones claras de cada conducta y formación previa de observadores.

Instrumento I: estabilidad técnica. La batería verifica arranque, recuperación, guardado, sincronización y exportación en condiciones normales y adversas. Los fallos se clasifican por severidad e impacto pedagógico. Un problema de estética tiene prioridad menor que pérdida de trabajo o permisos indebidos. La matriz de pruebas incluye versiones, dispositivos, conectividad y pasos reproducibles para que las mejoras puedan comprobarse objetivamente.

Instrumento J: valoración económica. El equipo registra horas de diseño, revisión disciplinar, soporte, compra y mantenimiento, así como recursos de uso docente que se desplazan. El cálculo se presenta con supuestos y horizonte temporal, no como un precio universal por estudiante. Para comparar modalidades se describen costos compartidos y marginales. La decisión de escalar debe considerar acceso y seguridad junto con aprendizaje, no solo costo mínimo.

5.5.8. Banco de tareas abiertas para evaluación formativa

Las tareas siguientes pueden utilizarse como insumos para construir pruebas con rúbrica. Cada una requiere validación contextual y control de dificultad antes de aplicarse a estudiantes. Se evita presentar respuestas cerradas cuando la evidencia disponible permite más de una interpretación razonada.

Tarea 01. Se presentan dos dibujos de una cuenca con diferente escala vertical. Explique cuál de las diferencias es real y cuál procede de una convención gráfica.

Indique qué información necesitaría para comparar pendientes numéricamente. El criterio de respuesta exige reconocer exageración y no utilizar distancias visuales como medición.

Tarea 02. Una tabla contiene tres observaciones con unidades distintas. Proponga cómo compararlas y señale cuáles no admiten conversión sin datos adicionales. La valoración distingue operaciones matemáticas válidas de cambios de etiqueta arbitrarios y reconoce el derecho a declarar información insuficiente.

Tarea 03. Una simulación modifica cobertura vegetal y lluvia al mismo tiempo. Rediseñe el ensayo para atribuir con mayor claridad un cambio observado a un factor. Se busca control de variables y reconocimiento de interacciones potenciales, no una explicación única y concluyente.

Tarea 04. En un modelo de cuenca hay una zona sin información sobre suelo. Justifique si puede formular una predicción provisional y cómo comunicaría la incertidumbre. La respuesta avanzada especifica mediciones necesarias y evita interpretar ausencia de dato como condición estable.

Tarea 05. Dos grupos presentan recomendaciones opuestas, ambas con argumentos plausibles. Diseñe un procedimiento de comparación de evidencia para avanzar en la discusión. Se valora pertinencia de los criterios, no adhesión del evaluador a una alternativa.

Tarea 06. Una fotografía muestra vegetación en una pendiente y otra muestra suelo desnudo. ¿Qué puede afirmar directamente y qué no puede inferir sin mediciones? La rúbrica distingue observación, hipótesis causal y generalización injustificada.

Tarea 07. Se propone usar el visor para memorizar cinco definiciones. Evalúe su pertinencia frente a una tarjeta de estudio accesible y justifique la elección. La respuesta correcta no exige recomendar XR; debe considerar valor añadido, costo y accesibilidad.

Tarea 08. Un registro aparece duplicado en una exportación. Explique dos hipótesis sobre su origen y cómo comprobaría cada una. La respuesta debe conservar trazabilidad y evitar borrar datos antes de revisar identificadores y versiones.

Tarea 09. Una escena muestra una trayectoria que contradice una predicción inicial. Describa dos posibles causas de la discrepancia: una conceptual y otra técnica. Se valora la capacidad de cuestionar tanto el razonamiento propio como la fidelidad del modelo.

Tarea 10. Una misma consigna se presenta en realidad virtual y en pantalla. Proponga una prueba para verificar si ambas permiten demostrar el mismo conocimiento. El criterio exige especificar un constructo común y describir posibles interferencias de los controles.

Tarea 11. Una aplicación solicita localización exacta para una observación que solo requiere distinguir zonas de una ciudad. Evalúe la proporcionalidad del permiso y proponga una alternativa de captura de datos. Se valora pertinencia y minimización sin sacrificar integridad del ejercicio.

Tarea 12. Un estudiante interrumpe la experiencia por incomodidad. Describa cómo debe continuar la evaluación académica y qué información operativa resulta pertinente. La respuesta exige seguridad, alternativa equivalente y tratamiento prudente de cualquier dato personal.

Tarea 13. Una institución dispone de cinco visores para una cohorte numerosa. Diseñe una rotación que mantenga actividad intelectual en quienes no usan el equipo. Se valora distribución de roles, productos de cada estación y necesidad de supervisión, no un número arbitrario de minutos.

Tarea 14. El equipo desarrolla un modelo científico cuyas reglas cambian durante el semestre. Indique cómo comunicar, versionar y conservar comparabilidad de las evaluaciones anteriores. La respuesta debe reconocer que actualizar código y modificar conocimiento representado son procesos distintos.

Tarea 15. Un docente quiere calificar por tiempo total de uso de la app. Analice por qué esa métrica puede resultar inválida y proponga una evidencia más vinculada al objetivo de aprendizaje. Se valoran definiciones claras y atención a estudiantes con conectividad o velocidades de trabajo diferentes.

Tarea 16. Una interfaz utiliza color rojo y verde para indicar dos categorías. Proponga cómo asegurar interpretación para usuarios con diferencias de percepción cromática. El criterio exige redundancia informativa mediante texto, patrones o posición, sin atribuir una solución universal a un solo ajuste.

Tarea 17. Los estudiantes creen que una representación tridimensional demuestra la escala exacta del territorio. Diseñe una actividad breve para cuestionar esa inferencia. La respuesta debe incluir comparación con datos de referencia y reflexión sobre convenciones visuales.

Tarea 18. Una prueba postest incluye exactamente los mismos elementos y posiciones que la escena practicada. Explique qué limita la interpretación y proponga un ítem de transferencia. Se busca diferenciar memorización contextual y comprensión de principios.

Tarea 19. Un conjunto de datos contiene una medición extremadamente diferente del resto. Describa un procedimiento que preserve integridad y permita examinar si se trata de un error. La evaluación penaliza eliminar el dato únicamente para mejorar una conclusión estadística.

Tarea 20. Un panel educativo muestra cifras de una fuente externa, pero no indica fecha. Analice el problema para su uso científico y formule una mejora de interfaz. El criterio exige trazabilidad temporal y reconocimiento de posibles cambios del fenómeno estudiado.

Tarea 21. Un alumno solo puede usar una alternativa no inmersiva. Proponga evidencias comparables y un criterio de calificación que no dependa del gesto ni del campo de visión. Se valora equivalencia de constructo y ausencia de penalizaciones por modalidad.

Tarea 22. Una actividad pide compartir fotografías con todo el grupo. Identifique riesgos y proponga permisos y revisiones previas a publicación. La respuesta distingue registro académico, revisión docente y divulgación pública como acciones de distinta finalidad.

Tarea 23. Un modelo recibe un parámetro fuera del rango para el que fue construido. Especifique la conducta segura que debería adoptar la escena. La evaluación exige impedir conclusiones no sustentadas y comunicar límites sin fallas silenciosas.

Tarea 24. Una animación parece indicar que toda lluvia se transforma en escorrentía inmediata. ¿Qué procesos omitidos podría destacar el docente y qué cambio de diseño reduciría la confusión? La respuesta debe reconocer infiltración, almacenamiento y otros elementos relevantes según el nivel curricular.

Tarea 25. Un docente quiere utilizar un dato de interacción que la app no recoge para evaluar motivación. Explique qué evidencia y autorización necesitaría antes de formular tal inferencia. Se valora cautela ante constructos psicológicos y minimización de datos.

Tarea 26. Una institución recibe una donación de visores sin soporte. Evalúe requisitos de mantenimiento, actualización y contingencia antes de iniciar un curso obligatorio. La respuesta debería plantear responsables concretos y costos que permanecen aun cuando el equipo se obtuvo gratuitamente.

Tarea 27. Dos versiones de una hipótesis estudiantil llegan al servidor con retrasos diferentes. Diseñe una regla que preserve ambas y permita mostrar el orden lógico de revisión. El criterio exige distinguir hora de captura, hora de recepción y versión base.

Tarea 28. Un recurso inmersivo sobre patrimonio presenta una reconstrucción posible como si fuese una certeza arqueológica. Proponga cómo distinguir evidencia y especulación desde la interfaz. La respuesta debe incluir criterios de fuente y no limitarse a una nota legal genérica.

Tarea 29. Una app propone una solución automática para un problema ambiental con dimensiones sociales discutibles. Analice por qué una puntuación única puede resultar inadecuada. La evaluación valora reconocimiento de criterios múltiples, consecuencias y espacio para argumentación humana.

Tarea 30. El laboratorio obtiene alta satisfacción, pero no mejora una prueba de transferencia. Formule al menos tres hipótesis explicativas y proponga cómo investigarlas. Una respuesta sólida distingue novedad, tiempo de práctica, carga de interfaz, validez de instrumento y características del aprendizaje.

5.5.9. Calibración de evaluadores y corrección de respuestas abiertas

Antes de aplicar la rúbrica, dos o más evaluadores deberían revisar ejemplos de respuestas preparadas para representar niveles distintos. Cada evaluador justifica su clasificación con frases de los descriptores, no con impresiones globales. Las discrepancias se discuten para identificar criterios ambiguos y mejorar anclas. Cuando el instrumento se utilice en investigación, la concordancia se evaluará mediante procedimientos adecuados a la escala y al diseño, sin inventar coeficientes en la fase de especificación.

Las respuestas abiertas requieren reglas de tratamiento de información incompleta. Una contestación breve puede ser correcta si identifica el mecanismo y la condición relevante; una extensa puede contener afirmaciones incompatibles. Conviene permitir una categoría para evidencia no interpretable y registrar los motivos. El proceso de arbitraje debe dejar rastros de decisiones, especialmente cuando una calificación se utiliza para evaluar eficacia del prototipo.

La retroalimentación al estudiante debe separar dimensiones: precisión conceptual, uso de datos, justificación y reconocimiento de límites. Una misma recomendación genérica para todos los errores no favorece revisión. Se sugieren orientaciones específicas, como «compara unidades antes de afirmar que los valores difieren» o «identifica el factor que cambió entre los escenarios». La valoración docente mantiene el derecho a contextualizar respuestas originales que no coincidan con ejemplos ancla.

5.5.10. Manual breve de administración de las actividades de transferencia

El aplicador presenta instrucciones uniformes y comprueba que los materiales estén accesibles. Antes de comenzar, ofrece un ejemplo no evaluado que permita conocer el formato de respuesta. No anticipa el mecanismo de solución de los ítems. Si surge una duda de interfaz, puede aclarar el procedimiento según un guion común; si la pregunta es conceptual, se registra conforme a las reglas del protocolo. Esta distinción evita transformar la ayuda del evaluador en una fuente diferencial de aprendizaje.

La corrección conserva las respuestas originales y las decisiones de revisión. Los ítems de práctica se etiquetan como tales y no se mezclan con resultados de transferencia. Si una interrupción técnica afecta el tiempo o la posibilidad de responder, se documenta antes de decidir cómo tratar el caso en el análisis. El objetivo metodológico es obtener evidencia interpretable, no completar a toda costa la cantidad prevista de respuestas.

Los ítems aquí propuestos necesitan validación por expertos del área y pruebas de comprensión lingüística. Para estudios comparativos se requieren versiones equivalentes, análisis de dificultad y consideración de experiencia previa. Una colección de preguntas bien redactadas es un punto de partida, no una garantía automática de validez psicométrica.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN CRÍTICA, GOBERNANZA Y PROYECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS EDUCATIVAS

6.1. ENTRE EVIDENCIA CIENTÍFICA Y PROMESA DE INNOVACIÓN

El entusiasmo por la inmersión ha favorecido experiencias valiosas, pero también afirmaciones demasiado generales acerca de su efecto en el aprendizaje. Las revisiones disponibles señalan una realidad heterogénea: determinadas actividades pueden mejorar resultados, mientras otras generan carga cognitiva, dependencia de la novedad o dificultades de transferencia. Poupard et al. (2025) subrayan que la realidad virtual puede aumentar exigencias extrínsecas en principiantes. Huang et al. (2025) señalan efectos positivos medios en una síntesis sobre realidad mixta, condicionados por parámetros de implementación. Estas conclusiones no son incompatibles: muestran que la eficacia corresponde a una configuración de medio, tarea y contexto, no a una categoría comercial de hardware.

Una consecuencia para las instituciones es sustituir la pregunta por la «efectividad del dispositivo» por una investigación sobre mecanismos. ¿La representación espacial permite reconocer un patrón que de otro modo se omite? ¿La manipulación activa mejora comprensión o consume atención? ¿La retroalimentación incorporada explica la mejora más que la inmersión misma? ¿La experiencia se mantiene cuando desaparece el efecto sorpresa? Son preguntas que pueden originar estudios con diseño, variables y comparaciones adecuados. La innovación se vuelve científica cuando acepta la posibilidad de que una hipótesis no se confirme.

También conviene distinguir eficacia y escalabilidad. Un prototipo desarrollado por un equipo experto puede obtener buenos resultados en condiciones muy

controladas. La implementación ordinaria añade docentes con diferentes niveles de formación, equipos envejecidos, limitaciones de ancho de banda y estudiantes con necesidades diversas. Un efecto moderado bajo condiciones ideales podría desaparecer si la instalación consume la mitad de la clase. Las investigaciones de segunda generación deberían incluir datos operativos, costos, soporte e indicadores de equidad.

La literatura reciente sobre diseño pedagógico en realidad virtual ha enfatizado principios concretos, como preparación inicial y actividades generativas (Oje et al., 2025). Esta orientación resulta más productiva que los debates absolutos sobre si la tecnología es «buena» o «mala». El problema real es identificar para qué aprendizajes, bajo qué restricciones, mediante qué guion y con qué alternativa una experiencia contribuye a desarrollar capacidad. La evaluación se enriquece si documenta no solo la versión final, sino las decisiones de diseño que condujeron a ella.

6.2. GOBERNANZA PEDAGÓGICA Y SOBERANÍA SOBRE DATOS

Las plataformas educativas acumulan decisiones que normalmente se atribuyen a diferentes áreas. El equipo curricular define objetivos; informática administra identidad; la oficina jurídica examina contratos; bienestar vela por seguridad y accesibilidad; docentes corrigen desempeño; estudiantes producen evidencias. Cuando no existe coordinación, el sistema puede tratar una necesidad pedagógica como permiso técnico o una actividad de aprendizaje como fuente ilimitada de datos. La gobernanza debe establecer un responsable por cada decisión crítica y un mecanismo de revisión que incluya perspectivas educativas y tecnológicas.

La soberanía de datos exige preguntar dónde se almacenan evidencias, qué proveedor puede procesarlas, quién accede y cómo se exportan. El uso de una plataforma comercial no implica automáticamente transferencia de control absoluto, pero sí obliga a comprender políticas, permisos y dependencias. Los acuerdos institucionales deben definir finalidad de tratamiento, responsabilidades, conservación, incidentes, portabilidad y eliminación. Las políticas de privacidad deben tener una versión comprensible para estudiantes; un documento extenso e inaccesible no constituye comunicación suficiente.

La analítica educativa tiene que practicar minimización. Para detectar si una instrucción es incomprensible puede bastar una cuenta agregada de solicitudes de ayuda; no hace falta conservar cada movimiento de la mano en XR. Para estudiar errores científicos, puede registrarse el razonamiento explícito del estudiante con autorización pertinente, evitando datos corporales no necesarios. Cualquier proyecto de investigación requiere distinguir prestación del servicio educativo de explotación secundaria de datos. La institución debe permitir una evaluación independiente de los beneficios y riesgos de tal uso.

La gobernanza también afecta la calidad científica de los contenidos. Una simulación tiene supuestos, fuentes, versión y responsables de revisión; si cambia una regla sin registro, dos cohortes podrían estar aprendiendo con modelos diferentes. El control de versiones pedagógicas es equivalente al control de versiones del software en su necesidad de trazabilidad. Debe existir un proceso para corregir errores conceptuales, retirar recursos y comunicar cambios cuando afecten actividades evaluadas.

6.3. FORMACIÓN DOCENTE Y DESARROLLO PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIO

Los programas de formación tecnológica fallan cuando se limitan a explicar botones. Un docente necesita saber formular problemas, seleccionar evidencia, conducir el debriefing, interpretar dificultades de interfaz y decidir cuándo suspender la actividad. El aprendizaje profesional puede organizarse mediante diseño colaborativo: un equipo construye una secuencia pequeña, la prueba con colegas, examina preguntas que resultaron confusas y documenta modificaciones. La mejora se produce mediante ciclos de práctica reflexiva, no mediante certificaciones basadas solo en asistencia.

La colaboración entre disciplinas requiere acuerdos sobre lenguaje. El desarrollador puede considerar que una escena está terminada cuando funciona en el visor; el experto de contenido puede detectar que una variable está mal representada; el docente puede observar que los estudiantes no comprenden la consigna. Un protocolo de aceptación conjunta evita que la definición de «listo» corresponda a un solo equipo. Una sesión de revisión debe vincular cada decisión con un objetivo de aprendizaje, una condición de uso y un criterio de prueba.

El rol de facilitador técnico merece reconocimiento institucional. Preparar visores, gestionar versiones, resolver incidencias y limpiar equipos consume tiempo real. No debería añadirse informalmente a la carga docente sin presupuesto ni formación. Cuando los programas de innovación dependen de voluntarismo, se vuelven vulnerables a cambios de personal y pierden continuidad. Una política de soporte sostenible preserva recursos pedagógicos y evita que el mismo error se repita en cada semestre.

El desarrollo profesional también implica criterio para rechazar tecnologías. Enseñar a comparar alternativas, analizar contratos, diseñar evaluaciones y documentar riesgos es tan importante como aprender Unity. Una institución madura no mide innovación por número de dispositivos utilizados, sino por la calidad de las experiencias ofrecidas y la capacidad de explicar sus resultados.

6.4. SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA, TÉCNICA Y AMBIENTAL

El costo total de propiedad abarca adquisición, configuración, contenidos, entrenamiento, mantenimiento, reemplazo, almacenamiento y disposición final. En XR también se añaden accesorios, higiene, espacio seguro y actualización constante de dependencias. Estas partidas deben convertirse en un presupuesto plurianual y no quedar ocultas tras una donación inicial. La comparación económica relevante es el costo de lograr un aprendizaje con calidad y acceso, no el precio aislado de un equipo.

La sostenibilidad técnica depende de decisiones de interoperabilidad y modularidad. Utilizar modelos exportables, documentar reglas, conservar repositorios y separar el contenido del motor facilita adaptar el proyecto a nuevos entornos. No elimina por completo dependencia de SDK propietarios, pero reduce el costo de migración. La estrategia prudente incluye pruebas periódicas de recuperación y capacidad para ofrecer enseñanza equivalente sin visor durante una interrupción.

La sostenibilidad ambiental exige considerar vida útil de equipos, consumo energético, reparabilidad, reutilización y residuos electrónicos. Incorporar visores para actividades que pueden resolverse adecuadamente con materiales existentes aumenta el

impacto sin demostrar beneficio. Cuando una simulación evita prácticas materialmente costosas o desplazamientos innecesarios, puede ofrecer ventajas, pero estas deben examinarse con criterios explícitos. No es riguroso atribuir automáticamente a toda actividad digital una menor huella ambiental.

La evaluación económica necesita reconocer costos de oportunidad. Los recursos destinados a una sala inmersiva no pueden destinarse simultáneamente a conectividad, bibliotecas, formación docente o apoyo estudiantil. Un comité puede establecer una cartera equilibrada: infraestructura de acceso, herramientas móviles de bajo costo y experiencias XR concentradas en actividades donde la inmersión tenga una justificación fuerte. El equilibrio reduce la dependencia de una sola solución tecnológica.

6.5. AGENDA DE INVESTIGACIÓN Y ESCENARIOS FUTUROS

Una agenda de investigación debe partir de problemas no resueltos. Entre ellos destacan la retención a largo plazo, la transferencia a situaciones reales, la distribución del beneficio entre estudiantes con distintas experiencias previas, la relación entre carga cognitiva y forma de locomoción, y el efecto de modelos científicos con diferentes grados de fidelidad. Resulta igualmente importante estudiar cómo los docentes utilizan las evidencias de aprendizaje y qué condiciones hacen sostenible una aplicación después del primer pilotaje.

Las comparaciones experimentales tendrían que aislar mejor los mecanismos. No basta contrastar «grupo con XR» y «grupo sin XR» si los participantes también reciben distintos tiempos de práctica o una retroalimentación más rica. Un diseño factorial puede separar nivel de inmersión, grado de guía y tipo de tarea cuando el tamaño y la ética lo permitan. Los protocolos deberían publicar instrumentos, criterios de exclusión, versiones del software y eventos adversos. Esta transparencia ayuda a interpretar resultados e impide atribuir a una marca ventajas que dependen de una implementación irrepetible.

La inteligencia artificial integrada en aplicaciones puede apoyar subtitulado, búsqueda, diálogo contextual y retroalimentación, pero introduce cuestiones de

exactitud, privacidad y sesgo. Un sistema que genera explicaciones necesita permitir revisión humana y distinguir contenido verificado de texto probabilístico. En una escena educativa científica, un agente conversacional no debería modificar sin control las leyes del modelo ni inventar mediciones para mantener la interacción fluida. El principio de responsabilidad es que toda respuesta evaluable pueda contrastarse con fuentes y criterios explicitados.

Las interfaces espaciales continuarán cambiando de forma, peso, sensores y modalidades de entrada. No es posible sostener con rigor una predicción exacta sobre qué dispositivo dominará la enseñanza. Sí es posible anticipar necesidades relativamente duraderas: accesibilidad multimodal, protección de datos, interoperabilidad, evidencias de eficacia, formación docente y derecho a alternativas. Los productos que se diseñen sobre estos principios soportarán mejor la obsolescencia que aquellos construidos alrededor de una característica exclusiva del último modelo.

6.5.1. Preguntas investigables para programas universitarios

Línea	Pregunta específica	Evidencia necesaria
Aprendizaje	¿La manipulación espacial mejora transferencia frente a un modelo 3D en pantalla?	Prueba equivalente y grupo comparador
Carga cognitiva	¿La orientación previa reduce errores en estudiantes novatos?	Medidas de tarea, percepción y ayuda
Accesibilidad	¿Qué controles alternativos permiten resultados comparables?	Observación con usuarios diversos
Retención	¿Persiste el aprendizaje después de varias semanas?	Evaluación diferida y seguimiento
Docencia	¿Cómo cambia la calidad del debriefing según el apoyo recibido?	Análisis de interacciones y argumentos
Sostenibilidad	¿Qué costo operacional tiene cada modalidad por cohorte?	Costeo completo, incidencias y soporte

La agenda exige cooperación entre ciencias de la educación, informática, psicología, disciplinas de aplicación y gestión institucional. Un estudio bien acotado, transparente y replicable aporta más conocimiento que una demostración extensa sin criterios de evaluación.

6.6. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINAR SOBRE EXPERIENCIAS INMERSIVAS

6.6.1. Precisar la pregunta y la teoría de cambio

Un protocolo debe distinguir intervención, mecanismo y resultado. «Utilizar Meta Quest» es una descripción incompleta de la intervención, porque una visita guiada, una simulación exploratoria y una práctica con errores recuperables pueden operar mediante procesos cognitivos distintos. Una teoría de cambio propone una cadena explícita: la representación espacial facilita reconocer un patrón; la actividad de predicción obliga a formular una relación; la comparación con resultados lleva a revisar el modelo mental; la reflexión guiada favorece transferencia. Cada eslabón es una hipótesis que puede fallar y debe tratarse como tal.

La pregunta de investigación delimita población, entorno, duración y alternativa. Una formulación sólida podría indagar si un módulo con manipulación espacial y debriefing equivalente mejora la explicación de relaciones tridimensionales respecto de un modelo interactivo en pantalla para estudiantes novatos. La respuesta requiere medidas de competencia, no solo cuestionarios de preferencia. También debe especificar qué experiencia previa de los participantes podría modificar el efecto y cómo se documentará.

El protocolo necesita prever que una intervención puede mejorar motivación inmediata y no producir retención, o aumentar desempeño en algunas tareas mientras agrava carga cognitiva. No es coherente reducir todos los resultados a una etiqueta única de «efectividad». La teoría de cambio especifica resultados primarios y secundarios, así como posibles efectos adversos, para evitar una interpretación selectiva después de observar datos.

6.6.2. Muestreo y comparabilidad

La población de referencia se define por características relevantes para el aprendizaje, como nivel de formación, conocimiento previo, dominio lingüístico y experiencia con tecnologías inmersivas. El reclutamiento debe respetar consentimiento y normas institucionales. Para comparar modalidades es importante reconocer diferencias previas entre grupos: quienes eligen voluntariamente usar un visor podrían

ser más entusiastas o disponer de mayores destrezas tecnológicas. La asignación aleatoria puede reducir ciertos sesgos cuando es viable; en otros casos se emplean diseños cuasiexperimentales con evaluación de comparabilidad inicial.

El tamaño de muestra no puede decidirse a partir de una cifra universal. Depende de efecto mínimo relevante, variabilidad esperada, estructura de grupos, pérdidas y diseño. Una planificación seria utiliza literatura previa o un estudio piloto para estimar parámetros y documenta supuestos de cálculo. Los subgrupos de accesibilidad y experiencia tecnológica requieren especial cautela: detectar diferencias de unos pocos participantes no justifica generalizar a poblaciones completas.

El diagrama de flujo de participantes debe mostrar invitaciones, aceptaciones, asignación, uso efectivo, interrupciones y datos disponibles para cada análisis. Se documentan razones de pérdida cuando puedan conocerse sin presión. El abandono por incomodidad no debe desaparecer del informe; constituye parte del balance de beneficios y riesgos de una experiencia inmersiva.

6.6.3. Medidas de competencia y desempeño

Una evaluación de aprendizaje combina tareas de comprensión y transferencia. La primera puede preguntar por relaciones estudiadas; la segunda presenta condiciones nuevas. Los ítems se revisan por correspondencia con objetivos y se prueban para identificar ambigüedad. Una rúbrica analítica permite distinguir precisión conceptual, uso de evidencia, argumentación y reconocimiento de límites. Cuando intervienen evaluadores humanos, se necesita calibración y evaluación de concordancia apropiada al tipo de dato.

La familiaridad con controles se mide por separado mediante tareas básicas no calificadas. Esta precaución evita que una prueba de conocimiento espacial termine midiendo destreza con un visor. El tiempo de ejecución puede registrarse, pero no debe convertirse automáticamente en indicador de aprendizaje: una explicación reflexiva tarda más que una respuesta impulsiva. También conviene incorporar evaluación diferida cuando la pregunta de investigación lo requiera.

Las medidas de experiencia de usuario incluyen claridad, errores, recuperación, accesibilidad y confort. Una encuesta al final puede aportar información subjetiva valiosa; sin embargo, no sustituye observación de tareas y medidas de rendimiento. El análisis relaciona las experiencias reportadas con condiciones reales de operación y reconoce incertidumbre.

6.6.4. Integridad analítica y reporte de hallazgos

Antes de examinar resultados se definen exclusiones justificadas, tratamiento de faltantes, contraste principal y análisis exploratorios. Los cambios posteriores deben declararse. Las pruebas estadísticas se eligen según diseño, datos disponibles y supuestos, y los hallazgos se interpretan mediante tamaños de efecto, intervalos y significado educativo, no únicamente a partir de un umbral de valor p. Un efecto pequeño puede ser importante en contextos escalables de bajo costo; uno aparentemente grande puede ser insuficiente si exige una inversión desproporcionada o excluye estudiantes.

Los resultados cualitativos necesitan trazabilidad de categorías, ejemplos y decisiones interpretativas, sin convertir testimonios singulares en frecuencias representativas. La triangulación permite explicar divergencias entre percepción y desempeño. Una publicación cuidadosa describe tanto los casos en que el sistema funcionó como sus fallas: pausas necesarias, problemas de lectura, errores de sincronización, tiempos docentes y limitaciones de la muestra.

La reproducibilidad requiere depositar, cuando sea legal y ético, instrumentos, guiones, diccionario de datos y versiones de código o materiales. No implica publicar información personal de estudiantes. Los repositorios pueden incluir conjuntos sintéticos claramente identificados para demostrar estructura de datos, mientras las bases reales se gestionan bajo autorizaciones específicas. La transparencia distingue materiales reutilizables de evidencia empírica que no puede difundirse.

6.7. INSTITUCIONALIZACIÓN RESPONSABLE Y EVALUACIÓN DE POLÍTICAS

6.7.1. Del piloto a la decisión pública

Un piloto exitoso suele describirse mediante fotografías, asistencia y satisfacción. Una decisión institucional exige información adicional: capacidad de formación docente, mantenimiento, continuidad curricular, accesibilidad, privacidad y costo de oportunidad. La evaluación debe comparar la nueva práctica con alternativas razonables, no solo con ausencia total de enseñanza. Cuando una mejora depende de un equipo externo excepcional, el escalamiento necesita considerar cómo se sostendrá después de su retirada.

Las decisiones pueden organizarse en tres puertas. La primera autoriza prototipado si existe una necesidad pedagógica clara y riesgos manejables. La segunda autoriza implementación limitada cuando pruebas técnicas, científicas y de accesibilidad alcanzan criterios predefinidos. La tercera decide escalamiento después de analizar desempeño real, equidad y sostenibilidad. Las puertas permiten detener un proyecto sin desvalorizar el aprendizaje adquirido en el piloto.

6.7.2. Compras, contratos y rendición de cuentas

Las adquisiciones deberían evaluar interoperabilidad, soporte, capacidad de exportación, actualización, seguridad y claridad de licencias. La solución más barata en una cotización puede resultar más costosa si exige reconstruir contenidos al año siguiente. La institución necesita un inventario de dependencias: proveedor de identidad, hosting, motor, SDK, hardware, repositorio y formatos de los materiales. También conviene definir la titularidad y el acceso a contenidos producidos por docentes y estudiantes.

Un contrato de implementación no garantiza aprendizaje por sí mismo. Los entregables deben incluir criterios técnicos y pedagógicos verificables: pruebas en dispositivos objetivo, fuentes y licencias de modelos, accesibilidad, recuperación de datos, materiales alternativos, documentación de uso y capacitación. Las promesas genéricas de «innovación» no sustituyen especificaciones. La rendición de cuentas compara entregables con necesidades educativas y evidencia disponible.

6.7.3. Autonomía académica frente al ciclo comercial

Las plataformas pueden facilitar innovación, pero su desarrollo responde también a mercados, modelos de distribución y decisiones propietarias. La universidad debe conservar capacidad para elegir, adaptar o abandonar una solución. La soberanía académica no exige desarrollar todos los sistemas internamente; significa mantener criterios propios de aprendizaje, proteger datos y preservar alternativas cuando cambia un proveedor.

La arquitectura modular, los formatos abiertos y las pruebas de equivalencia reducen dependencia. También contribuyen las bibliotecas de actividades que pueden ejecutarse como lectura, simulación en pantalla o experiencia inmersiva. Cuando el conocimiento curricular está codificado únicamente dentro de un ejecutable inaccesible, la institución pierde capacidad de revisión intelectual. Documentar el modelo permite que un nuevo equipo cuestione y mejore sus supuestos.

6.7.4. Criterios para continuar, modificar o retirar

La continuidad debe justificarse con evidencia. Un proyecto puede mantenerse si mejora aprendizajes específicos, opera con seguridad y ofrece acceso razonable. Puede modificarse cuando aparecen dificultades de usabilidad, efectos heterogéneos o costos que comprometen sostenibilidad. Debe retirarse temporalmente si produce riesgos no controlados, recoge información sin autorización adecuada o enseña un modelo científico incorrecto. La retirada no es un fracaso administrativo cuando evita perjuicios.

El seguimiento posterior al lanzamiento incluye revisiones curriculares, auditoría de permisos, pruebas de restauración y evaluación de la experiencia docente. También debe actualizarse bibliografía científica relevante y registrar decisiones. La innovación madura es un ciclo de pregunta, diseño, prueba y revisión, no una condición que se obtiene para siempre mediante la compra de equipos.

6.8. ESCENARIOS DE GOBERNANZA PARA DECISIONES REALES DE ADOPCIÓN

Los casos breves de esta sección son situaciones hipotéticas de gestión. Permiten ensayar decisiones que no se resuelven con conocimientos de programación y recuerdan que la eficacia educativa depende también de presupuestos, procesos y derechos. Cada solución propuesta deberá adaptarse a la legislación, contratos y reglamentos aplicables a la institución.

Caso institucional 1. Donación de visores sin mantenimiento

Una empresa ofrece visores a una facultad, pero el convenio no cubre accesorios, renovación ni soporte. La institución debe separar el valor de adquisición del costo total de uso. Antes de aceptar puede solicitar inventario, compatibilidad, garantía, plan de mantenimiento, responsable de seguridad y compromiso de disponibilidad curricular. Una donación puede ser beneficiosa sin convertirse en mandato para usar el dispositivo en toda asignatura.

Caso institucional 2. Plataforma gratuita que exige datos excesivos

Un proveedor ofrece una aplicación sin costo monetario a cambio de acceso a información de interacción no necesaria para el curso. La evaluación no debe considerar el precio como única condición. Se revisan finalidad, permisos, retención, transferencia y alternativas. Si el sistema exige un nivel de recolección injustificable, la institución debe negociar reducción de datos o elegir otra herramienta.

Caso institucional 3. Curso obligatorio con una sola modalidad

Un docente establece que todas las pruebas se resolverán con Meta Quest, incluso cuando algunos estudiantes no puedan usar el visor. La revisión curricular debe identificar qué competencia exige realmente inmersión y qué medios alternativos permiten evaluarla. Mantener el mismo estándar de aprendizaje no implica imponer un único soporte. Una adaptación razonable se diseña antes del inicio y no como excepción improvisada.

Caso institucional 4. Cambio de SDK durante evaluaciones

Una actualización rompe la interacción prevista a mitad del semestre. El equipo tiene que decidir entre reparar en una nueva versión, restaurar la anterior o activar la vía alternativa. Las calificaciones no deben depender de que un grupo haya recibido una versión más estable. Documentar versiones y conservar materiales de contingencia permite proteger comparabilidad y continuidad.

Caso institucional 5. Una escena contiene un error científico

Un especialista detecta que la animación representa una relación causal incorrecta. La respuesta responsable consiste en retirar temporalmente el módulo afectado, informar a docentes y estudiantes y revisar evaluaciones que utilizaron el contenido. Corregir el código sin comunicarlo no repara el efecto formativo de la explicación errónea. Se preserva registro de versiones y medidas aplicadas.

Caso institucional 6. Éxito de asistencia sin mejora de aprendizaje

Un laboratorio registra gran asistencia y opiniones positivas, pero los resultados en transferencia no cambian. El comité debe examinar alineamiento, dificultad, guía, tiempo y validez de instrumentos. Puede conservar una experiencia por objetivos distintos si están justificados, pero no presentarla como mejora demostrada de aprendizaje. La evidencia desfavorable orienta rediseño y evita escalar por publicidad.

Caso institucional 7. Docentes con cargas desiguales de soporte

En algunas asignaturas el equipo técnico prepara visores; en otras, el profesor resuelve solo las incidencias. Comparar resultados sin reconocer esta diferencia sería injusto. La gestión debe estandarizar apoyo mínimo, registrar tiempo de instalación y ofrecer capacitación. Un producto que necesita intervención constante quizá requiera simplificación antes de su expansión.

Caso institucional 8. Solicitud de publicación de fotografías

El equipo de comunicación desea difundir imágenes de estudiantes utilizando visores. La participación en una práctica no constituye autorización automática para

publicidad. Se revisan consentimientos aplicables y se ofrecen formas de comunicar resultados sin identificar personas. La institución puede publicar diseño y evidencias agregadas sin convertir la presencia estudiantil en material promocional.

Caso institucional 9. Informe de investigación con muestra incompleta

Un proyecto planeó incluir estudiantes que usaran visor, pero una parte suspendió sesiones por molestias. El reporte debe documentar las interrupciones y explicar cómo afectan los análisis. Excluir silenciosamente a quienes no completaron puede producir un sesgo favorable. La seguridad prevalece sobre la necesidad de alcanzar un número previsto de observaciones.

Caso institucional 10. Contenido local con interpretación controvertida

Una experiencia de patrimonio utiliza reconstrucciones históricas sobre las que existen perspectivas distintas. El comité de revisión debe distinguir hechos documentados, hipótesis y voces comunitarias. Presentar la reconstrucción como una verdad única puede invisibilizar evidencia y generar daño cultural. El diseño puede mostrar capas interpretativas y fuentes con respeto.

Caso institucional 11. Integración con calificaciones oficiales

Una app experimental intenta escribir notas directamente en el sistema institucional. Antes de habilitar esta función se necesitan permisos, pruebas de idempotencia, conciliación y corrección. Las evidencias se revisan con una rúbrica validada; un puntaje automático no debería convertirse en calificación oficial sin controles. También debe existir un procedimiento manual ante fallas de integración.

Caso institucional 12. Almacenamiento de imágenes del aula

Un módulo de realidad mixta puede reconocer superficies, pero los desarrolladores proponen guardar representaciones completas de todos los espacios utilizados. La institución debe preguntar qué beneficio educativo concreto justifica esa retención. Cuando bastan anclajes temporales o posiciones de objetos, recopilar más

información aumenta riesgos. Los permisos se documentan y se comprueba eliminación cuando proceda.

Caso institucional 13. Un simulador promete habilitación laboral

Una plataforma anuncia que completar una experiencia inmersiva certifica competencia operativa en un procedimiento riesgoso. La facultad debe revisar si existen pruebas de transferencia y evaluación práctica supervisada. La simulación puede apoyar preparación, pero no reemplaza condiciones profesionales que no representa. La publicidad y los certificados deben expresar el alcance demostrado con precisión.

Caso institucional 14. Financiación inicial y abandono posterior

Un proyecto funciona durante el año financiado por una convocatoria y pierde soporte al terminar la subvención. El presupuesto debe incluir conservación de contenidos, repositorios, entrenamiento y alternativas. Una política de continuidad puede priorizar módulos que demuestren valor y retirar aquellos cuyo costo excede beneficios. Las decisiones se comunican a docentes antes del inicio de nuevos cursos.

Caso institucional 15. Diferencias entre versiones del visor

Una actividad funciona en un dispositivo reciente, pero parte de la flota carece de la función necesaria. La institución debe probar hardware real y declarar compatibilidad antes de matricular estudiantes. Una alternativa de interacción o versión reducida puede preservar objetivos. No es aceptable distribuir calificaciones en función del modelo de visor que recibió cada persona.

Caso institucional 16. Datos analíticos utilizados para disciplina

Una coordinación intenta utilizar pausas, tiempo en pantalla o errores de navegación como indicadores de conducta estudiantil. Esos eventos no tienen significado unívoco y pueden reflejar accesibilidad o conectividad. Antes de cualquier uso se requiere finalidad legítima, evidencia de validez y protección de derechos. El sistema debería evitar capturar datos innecesarios para interpretaciones punitivas.

Caso institucional 17. Contrato cerrado y pérdida de portabilidad

Una universidad descubre que no puede exportar sus modelos y rúbricas desde una plataforma. La decisión de continuidad debe considerar costo de dependencia y posibilidad de migrar. Los próximos contratos deberían exigir formatos reutilizables, acceso a fuentes y documentación. La portabilidad académica protege años de trabajo docente frente a cambios comerciales.

Caso institucional 18. Solicitud de personalización con perfiles sensibles

Un equipo propone inferir capacidad o vulnerabilidad estudiantil mediante datos de interacción para recomendar actividades. La institución debe examinar necesidad, validez y riesgo de discriminación. Una recomendación basada en errores de una sesión puede ofrecer ayuda sin asignar etiquetas permanentes. La transparencia y opción de intervención humana favorecen agencia y reducen posibles daños.

Caso institucional 19. Reclamo de un estudiante por pérdida de datos

La aplicación mostró «guardado» antes de confirmar la entrega y una tarea quedó sin registrar. La institución debe verificar trazas disponibles, ofrecer un procedimiento de recuperación y evitar penalizar una falla de servicio. Corregir el mensaje y separar guardado local de recepción remota constituye una mejora técnica y de justicia evaluativa. Los incidentes se documentan sin exponer información de otros participantes.

Caso institucional 20. Investigación financiada por fabricante

Un estudio recibe apoyo de un proveedor de hardware. La financiación no invalida automáticamente el trabajo, pero los intereses y el grado de independencia deben declararse. El protocolo debe permitir informar efectos nulos y problemas, utilizar comparaciones razonables y preservar análisis transparentes. La credibilidad depende de procedimientos y acceso a resultados, no de ocultar relaciones comerciales.

Caso institucional 21. Experiencia multijugador en espacio reducido

Una propuesta invita a varios estudiantes a usar visores simultáneamente en una sala pequeña. El comité debe revisar circulación, límites físicos, roles y comunicación entre participantes. La coordinación virtual no garantiza conciencia de la ubicación corporal de otros. Puede optarse por estaciones separadas o colaboración asincrónica si el espacio no permite un uso seguro.

Caso institucional 22. Profesor que quiere reemplazar toda lectura por XR

La inmersión facilita algunos tipos de percepción, pero la lectura crítica y la argumentación extensa requieren soportes distintos. Un currículo equilibrado puede reservar XR para relaciones espaciales y emplear textos para fuentes, conceptos y debate. La selección de medio se justifica por desempeño buscado. La innovación no consiste en eliminar materiales tradicionales por una obligación estética.

Caso institucional 23. Publicación de resultados sin datos comparables

Un informe afirma que la nueva aplicación «mejoró 80 %» sin especificar instrumento, referencia o población. La revisión editorial debe solicitar definiciones, denominadores, versión del software, comparación y procedimiento de análisis. Una proporción sin contexto puede inducir conclusiones falsas. Si no hay datos verificables, el resultado se reformula como hipótesis o descripción de diseño.

Caso institucional 24. Retirada de una tecnología obsoleta

Una aplicación deja de recibir actualizaciones de seguridad y no existe soporte viable. La institución necesita una salida: exportar evidencias, conservar guiones curriculares y ofrecer una alternativa. Insistir en un sistema inseguro por apego a la inversión inicial puede crear perjuicios mayores. La documentación cuidadosa facilita que el trabajo intelectual continúe en otro medio.

REFLEXIONES FINALES

La historia de la tecnología educativa ha mostrado que el dispositivo más reciente no cambia por sí solo las condiciones del aprendizaje. Las aplicaciones móviles y los visores de realidad virtual o mixta ofrecen capacidades genuinas: registrar fenómenos durante una actividad, sostener colaboración distribuida, manipular representaciones tridimensionales, ensayar procedimientos y explorar entornos inaccesibles. Sin embargo, esas posibilidades solo adquieren valor formativo cuando se convierten en tareas de razonamiento, productos observables y oportunidades de retroalimentación.

Una primera reflexión concierne a la precisión del propósito. La innovación debería empezar con un problema que tenga significado curricular y social. Cuando se explicita el desempeño buscado, es posible comparar medios y evitar gastos orientados principalmente a impresionar. La experiencia inmersiva puede merecer inversión si hace comprensibles relaciones espaciales complejas o permite practicar situaciones peligrosas de forma más segura; no hay motivo para imponerla a una actividad en la que una explicación breve y una conversación cuidadosa resultan suficientes.

La segunda reflexión se refiere a la continuidad entre diseño pedagógico e ingeniería. Un error de sincronización puede destruir evidencia de campo; una etiqueta ilegible puede impedir comprender un modelo; una regla científica mal programada puede enseñar una relación falsa; una evaluación centrada en clics puede premiar destreza instrumental en lugar de comprensión. Estas dificultades muestran que contenidos, interfaz, datos y evaluación forman un solo sistema de calidad. El trabajo interdisciplinario debe comenzar antes del primer prototipo y continuar durante su uso real.

La tercera reflexión es ética. La escuela y la universidad no pueden exigir que la participación dependa de una condición física, un dispositivo costoso o una conexión estable. El diseño universal, las alternativas equivalentes, la seguridad y la minimización de datos no son limitaciones externas a la innovación; constituyen criterios para reconocerla como educativa. Un proyecto capaz de admitir que algunas

personas aprenderán mejor sin visor demuestra mayor madurez que uno obsesionado con mantener a todos dentro de la experiencia inmersiva.

La cuarta reflexión es científica. Las revisiones disponibles no sostienen que la realidad virtual produzca efectos positivos en cualquier escenario; señalan interacciones complejas entre contenido, guía, carga cognitiva y contexto. La investigación aplicada debe evaluar resultados de aprendizaje, transferencia, comodidad y costos con instrumentos válidos. Los diseños conceptuales, incluido «Aula Cuenca», ofrecen hipótesis y protocolos, no resultados ya obtenidos. Convertirlos en evidencia exige implementación, autorización, mediciones y análisis real.

Por último, la autonomía institucional importa. Documentar modelos, separar capas de software, conservar formatos abiertos y construir procedimientos alternativos permite que el aprendizaje no dependa por completo del ciclo comercial de una plataforma. Las gafas de Meta Quest son una referencia concreta del presente y un objeto útil de estudio; los principios pedagógicos y científicos deben sobrevivir a ellas. La verdadera transformación ocurre cuando estudiantes y docentes adquieren más capacidad de investigar, interpretar, decidir y comunicar, con tecnología cuando aporta valor y sin ella cuando no la aporta.

BIBLIOGRAFÍA

CAST. (2024). *Universal Design for Learning Guidelines version 3.0*. https://udlguidelines.cast.org/

Conrad, M., Kablitz, D., & Schumann, S. (2024). Learning effectiveness of immersive virtual reality in education and training: A systematic review of findings. *Computers & Education: X Reality*, Article 100053. https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100053

Huang, T.-C., Chen, C.-H., & Tseng, C.-Y. (2025). Exploring learning effectiveness of integrating mixed reality in educational settings: A systematic review and meta-analysis. *Computers & Education*, Article 105327. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105327

Mayer, R. E. (2024). The past, present, and future of the cognitive theory of multimedia learning. *Educational Psychology Review, 36*, Article 8. https://doi.org/10.1007/s10648-023-09842-1

Meta. (2026a). *Platforms: Build for Meta Horizon OS*. Meta Horizon OS Developers. https://developers.meta.com/vr/discover/platforms/

Meta. (2026b). *Passthrough sample overview*. Meta Horizon OS Developers. https://developers.meta.com/vr/documentation/unity/unity-sample-starter-passthrough/

Meta. (2026c). *Interaction SDK*. Meta Horizon OS Developers. https://developers.meta.com/vr/documentation/unity/unity-isdk-interaction-sdk-overview/

Meta. (2026d). *Meta Quest Safety Center: VR safety guidelines*. https://www.meta.com/quest/safety-center/

Meta. (2026e). *Manual project setup appendix*. Meta Horizon OS Developers. https://developers.meta.com/vr/documentation/unity/unity-tutorial-hello-world-manual-steps/

Meta. (2026f). *Spatial anchors*. Meta Horizon OS Developers. https://developers.meta.com/vr/documentation/unity/unity-spatial-anchors-persist-content/

Meta. (2026g). *WebXR overview*. Meta Horizon OS Developers. https://developers.meta.com/vr/documentation/web/webxr-overview/

Oje, A. V., Hunsu, N. J., & Fiorella, L. (2025). A systematic review of evidence-based design and pedagogical principles in educational virtual reality environments. *Educational Research Review, 47*, Article 100676. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2025.100676

Poupard, M., Larrue, F., Sauzéon, H., & Tricot, A. (2025). A systematic review of immersive technologies for education: Learning performance, cognitive load and

intrinsic motivation. *British Journal of Educational Technology, 56*(1), 5–41. https://doi.org/10.1111/bjet.13503

UNESCO. (2023). *Global education monitoring report 2023: Technology in education—A tool on whose terms?* https://www.unesco.org/gem-report/en/publication/technology

World Wide Web Consortium. (2023, actualizado en 2024). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2*. https://www.w3.org/TR/WCAG22/

World Wide Web Consortium. (2026). *WebXR Device API* [Candidate Recommendation Draft, 9 de noviembre de 2026]. https://www.w3.org/TR/2026/CRD-webxr-20261109/