

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Desarrollo de una Plataforma Virtual Interactiva para la Enseñanza de Química
Alimentaria y Bioquímica

TECH-423

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO/A EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Presentado por:

Tommy Rubén Burgos Calle

Paula Gabriela Peralta Aguilar

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, quienes con su constante apoyo me han ayudado a llegar hasta este punto, siendo mi fuente de inspiración y sostén para alcanzar mis metas personales y académicas. A mi abuelo, por su ejemplo de vida y su amor; por llevarme de la mano cada día a la escuela y al colegio; por su café infaltable en las mañanas, que nos brindaba la energía para comenzar el día. Partiste antes de tiempo, poco antes de verme graduado. Hoy solo me queda elevar esta dedicatoria hasta el cielo, con la esperanza de que puedas sentir lo agradecido que estoy contigo.

Tommy Rubén Burgos Calle

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi mamá, por su amor incondicional y ejemplo de fortaleza; a mi abuelita, por sus enseñanzas y ternura que han guiado mi vida; a mis tíos, por su apoyo y cariño sincero; y a mi abuelito, cuya memoria permanece en cada logro alcanzado. También a mis perritos, que desde el cielo siguen alegrando mis recuerdos, y a mis mejores amigas del colegio, con quienes crecí compartiendo sueños y aprendizajes que me enseñaron el valor de una amistad verdadera que perdura en el tiempo.

Paula Gabriela Peralta Aguilar

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por la salud, fortaleza y sabiduría que nos permitió culminar nuestra formación profesional. A nuestros padres y abuelos, por su amor, sacrificio y valores que fueron el pilar de este logro. A la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), a nuestros docentes, y en especial a la profesora Marisol Wong Villacrés y al tutor Jorge Magallanes Borbor, por su guía y apoyo constante durante este proyecto. Finalmente, a familiares, amigos y compañeros, por sus palabras de aliento y compañía a lo largo de este camino universitario.

Tommy Rubén Burgos Calle

Paula Gabriela Peralta Aguilar

Declaración Expresa

Nosotros Tommy Rubén Burgos Calle y Paula Gabriela Peralta Aguilar acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, ____27 de mayo____del 2025.

Tommy Rubén Burgos
Calle

Paula Gabriela Peralta
Aguilar

Evaluadores

PhD. Lucia Marisol Villacrés Falconi

Profesor de Materia

MSc. Jorge Antonio Magallanes

Borbor

Tutor de proyecto

Resumen

En este trabajo se desarrolló una plataforma web interactiva para apoyar la enseñanza de Bioquímica y Química de Alimentos en el ámbito universitario. Varios estudios han mostrado que los métodos tradicionales de enseñanza presentan limitaciones importantes, especialmente por la falta de herramientas tecnológicas que faciliten la visualización de conceptos químicos y bioquímicos complejos. El desarrollo se realizó aplicando la metodología SCRUM con un enfoque ágil, incluyendo actividades como recolección de requisitos, evaluación técnica, diseño de prototipos y validación con usuarios objetivo. La plataforma incluye simuladores moleculares en 2D y 3D, herramientas de evaluación formativa y sistemas de seguimiento del progreso estudiantil. En la prueba piloto realizada con 21 participantes se registró un tiempo promedio de interacción de 16 minutos y 23 segundos, superando los estándares esperados para plataformas educativas digitales. El 67% de los usuarios manifestó que la experiencia resultó más útil educativamente que los métodos convencionales. Los mapas de calor confirmaron que las herramientas de visualización molecular fueron las más empleadas. Los resultados permiten concluir que la plataforma mejora efectivamente la comprensión de procesos químicos complejos y apoya la labor docente, representando un precedente para incorporar tecnologías inmersivas en la educación superior científica.

Palabras Clave: Plataforma Virtual, Química Alimentaria, Bioquímica, Simuladores moleculares, 2D, 3D, Tecnología educativa

Abstract

This work developed an interactive web platform to support Biochemistry and Food Chemistry teaching at the university level. Several studies have shown that traditional teaching methods present significant limitations, especially due to the lack of technological tools that facilitate complex chemical and biochemical concepts visualization. Development was carried out applying SCRUM methodology with an agile approach, including activities such as requirements gathering, technical evaluation, prototype design, and validation with target users. The platform includes 2D and 3D molecular simulators, formative assessment tools, and student progress tracking systems. In the pilot test conducted with 21 participants, an average interaction time of 16 minutes and 23 seconds was recorded, exceeding expected standards for digital educational platforms. 67% of users stated that the experience was more educationally useful than conventional methods. Heat maps confirmed that molecular visualization tools were the most employed. Results allow concluding that the platform effectively improves understanding of complex chemical processes and supports teaching work, representing a precedent for incorporating immersive technologies in higher scientific education.

Keywords: *Virtual Platform, Food chemistry, Biochemistry, Molecular simulators, 2D, 3D, Educational technology*

Índice general

Resumen.....	7
<i>Abstract</i>	8
Índice general.....	9
Abreviaturas.....	12
Simbología.....	13
Capítulo 1	20
1. Introducción	21
1.1 Descripción del Problema.....	21
1.2 Justificación del Problema	22
1.3 Objetivos.....	24
1.4 Marco teórico	24
Capítulo 2	30
2. Metodología	31
2.1 Enfoque metodológico general del proyecto	31
2.2 Levantamiento de requerimientos	32
2.3 Evaluación tecnológica	34
2.4 Diseño de la solución	37
2.5 Prototipado de baja fidelidad	46
2.6 Prototipado de alta fidelidad	46
2.7 Evaluación del prototipo de alta fidelidad.....	47
2.8 Diseño detallado del sistema.....	50
2.9 Validación y protocolo de evaluación	53
2.10 Consideraciones éticas y legales	53
2.11 Contribución de la carrera de Computación.....	54
Capítulo 3	55

3. Resultados y análisis.....	56
3.1 Diseño metodológico y caracterización de participantes	56
3.2 Análisis de métricas generales de interacción.....	59
3.3 Mapas de calor y patrones de interacción.....	61
3.4 Evaluación de satisfacción y percepción.....	63
3.5 Síntesis de hallazgos principales.....	67
Capítulo 4	69
4. Conclusiones y recomendaciones	70
4.1 Conclusiones	70
4.2 Limitaciones reconocidas	71
4.3 Recomendaciones.....	71
Referencias	74
Apéndice	78
Apéndice A. Historias de usuario completas.....	78
Apéndice B. Pantallas del prototipo de baja fidelidad	81
Apéndice C. Pantallas del prototipo de alta fidelidad.....	85
Apéndice D. Diagramas Complementarios.....	109
D.1 Diagramas de Actividad	109
D.2 Diagramas de Secuencia	119
Apéndice E. Evidencias de evaluación de prototipo.....	128
E.1 Pruebas con docentes (Primera etapa).....	128
E.2 Pruebas con estudiantes (Segunda etapa).....	129
E.3 Resultados de la encuesta (Google forms)	129
Apéndice F. Evidencias de pruebas de usuario (plataforma desplegada)	135
Apéndice G. Configuración y datos de la encuesta Hotjar	136
G.1 Cuestionario completo de encuesta integrada	136
G.2 Informe de la encuesta generado por IA en Hotjar	141

Apéndice H. Datos detallados de evaluación	142
H.1 Session recordings	142
H.2 Mapas de Calor de las páginas de prueba con usuarios	143

Abreviaturas

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones (<i>Application Programming Interface</i>)
CSS	Hojas de Estilo en Cascada (<i>Cascading Style Sheets</i>)
EVA	Entornos Virtuales de Aprendizaje
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
HTML	Lenguaje de Marcado de Hipertexto (<i>HyperText Markup Language</i>)
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertexto (<i>HyperText Transfer Protocol</i>)
IA	Inteligencia Artificial
NPS	Net Promoter Score
SCRUM	Marco de trabajo ágil para desarrollo de software
SMILES	Sistema Simplificado de Entrada de Líneas Moleculares (<i>Simplified Molecular Input Line Entry System</i>)
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
UML	Lenguaje Unificado de Modelado (<i>Unified Modeling Language</i>)

Simbología

%	Porcentaje
μ	Media poblacional
σ	Desviación estándar
Σ	Sumatoria
$\sqrt{}$	Raíz cuadrada
n	Tamaño de muestra
x_i	Valor individual de la muestra
min	Minutos

Índice de figuras

Figura 1. Interfaz de simulación de geometría molecular en PhET	26
Figura 2. Modelo del plegamiento de proteínas en ChemTube3D.....	27
Figura 3. Casos de Uso del Sistema.....	38
Figura 4. Diagrama de Actividad - Creación de Modelos Moleculares.....	39
Figura 5. Diagrama de Actividad - Configuración de Evaluaciones Interactivas.....	40
Figura 6. Diagrama de Actividad - Ejecución de Actividades por Estudiantes.....	41
Figura 7. Diagrama de Secuencia - Gestión de Modelos Moleculares	42
Figura 8. Diagrama de Secuencia - Creación mediante SMILES	43
Figura 9. Diagrama de Secuencia - Integración de Prácticas con Simuladores.....	44
Figura 10. Diagrama de Clases del Sistema	45
Figura 11. Prototipo de Baja Fidelidad de la Plataforma.....	46
Figura 12. Prototipo de Alta Fidelidad Diseñado en Figma.....	47
Figura 13. Interfaz del prototipo de alta fidelidad evaluado por un profesor de FIMCP	49
Figura 14. Diagrama de Arquitectura General de la Plataforma.....	50
Figura 15. Diagrama de Despliegue.....	51
Figura 16. Modelo Lógico de la Base de Datos	52
Figura 17. Sesión de evaluación presencial en laboratorio 12H-Sala C-FIMCP con estudiantes de Química de Alimentos	57
Figura 18. Configuración de Hotjar y Encuesta Emergente en la Plataforma.....	59
Figura 19. Distribución de Clics por Sección de la Plataforma	61
Figura 20. Mapa de calor real - Página práctica vitamina C	62
Figura 21. Estudiante interactuando con simulador molecular durante sesión presencial	62
Figura 22. Métricas de Interacción – Página Práctica Vitamina C.....	63
Figura 23. Distribución NPS con gráfico horizontal	64
Figura 24. Aspectos que necesitan mayor mejora según los usuarios	66
Figura 25. Citas textuales extraídas por Hotjar - Aspectos más valorados.....	66
Figura 26. Historias de usuario (1 de 5) – Apéndice A.....	78
Figura 27. Historias de usuario (2 de 5) – Apéndice A.....	78
Figura 28. Historias de usuario (3 de 5) – Apéndice A.....	79
Figura 29. Historias de usuario (4 de 5) – Apéndice A.....	79
Figura 30. Historias de usuario (5 de 5) – Apéndice A.....	80
Figura 31. Prototipo de baja fidelidad Vista General – Apéndice B	81

Figura 32. Prototipo de baja fidelidad Vista Administrador (1 de 2) – Apéndice B	81
Figura 33. Prototipo de baja fidelidad Vista Administrador (2 de 2) – Apéndice B	82
Figura 34. Prototipo de baja fidelidad Vista Profesor – Apéndice B	83
Figura 35. Prototipo de baja fidelidad Vista Estudiante – Apéndice B.....	84
Figura 36. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Home – Apéndice C.....	85
Figura 37. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Iniciar Sesión – Apéndice C.....	86
Figura 38. Prototipo de alta fidelidad Pantalla registrarse – Apéndice C.....	86
Figura 39. Prototipo de alta fidelidad Pantalla de ¿olvidaste tu contraseña? – Apéndice C.....	87
Figura 40. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Dashboard Administrador – Apéndice C.....	87
Figura 41. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Crear Estructuras 2D/3D – Apéndice C	88
Figura 42. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Banco de estructuras 3D – Apéndice C.....	88
Figura 43. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Experimentos – Apéndice C.....	89
Figura 44. Prototipo de alta fidelidad Pantalla banco de Modelos 2D – Apéndice C	89
Figura 45. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Editar perfil – Apéndice C	90
Figura 46. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Vista usuarios – Apéndice C	90
Figura 47. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Dashboard Profesor – Apéndice C	91
Figura 48. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Crear curso – Apéndice C	92
Figura 49. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Curso creado	92
Figura 50. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Agregar contenido	93
Figura 51. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Agregar simulación – Apéndice C	93
Figura 52. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Eliminar curso – Apéndice C	94
Figura 53. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Cursos – Apéndice C.....	94
Figura 54. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Visualizar estudiantes – Apéndice C	95
Figura 55. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Prácticas realizadas	95
Figura 56. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Configuración de curso – Apéndice C.....	96
Figura 57. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Rendimientos estudiantes	97
Figura 58. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Cuestionario.....	97
Figura 59. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Dashboard Estudiante.....	98
Figura 60. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Competencias – Apéndice C	98
Figura 61. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Ejercicios Competencia	99
Figura 62. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Ejercicio de simulación	99
Figura 63. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Recurso video – Apéndice C	100
Figura 64. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Curso estudiante – Apéndice C.....	100
Figura 65. Prototipo de alta fidelidad Pantalla práctica – Apéndice C	101

Figura 66. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Resultados estudiante – Apéndice C.....	101
Figura 67. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Editar perfil – Apéndice C	102
Figura 68. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Puntuación por pregunta – Apéndice C.....	103
Figura 69. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Mostrar selección de pregunta – Apéndice C...	103
Figura 70. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Puntaje ejercicio de simulación – Apéndice C.	104
Figura 71. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Lista de cursos estudiante – Apéndice C	104
Figura 72. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Inicio Cuestionario – Apéndice C	105
Figura 73. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Pregunta de Cuestionario – Apéndice C.....	105
Figura 74. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Simulador en Cuestionario – Apéndice C	106
Figura 75. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Ejercicio 3D – Apéndice C	106
Figura 76. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Ejercicio 2D – Apéndice C	107
Figura 77. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Ejercicio 2 en 3D – Apéndice C.....	107
Figura 78. Prototipo de alta fidelidad Pantalla práctica simulación – Apéndice C.....	108
Figura 79. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Biblioteca prácticas – Apéndice C	108
Figura 80. Diagrama de actividad Gestión de usuarios – Apéndice D.1.....	109
Figura 81. Diagrama de actividad Visualizar métricas Administrador – Apéndice D.1.....	110
Figura 82. Diagrama de actividad Gestión de curso – Apéndice D.1	111
Figura 83. Diagrama de actividad Crear modelo 2D/3D – Apéndice D.1.....	112
Figura 84. Diagrama de actividad Visualizar progreso de estudiantes – Apéndice D.1	113
Figura 85. Diagrama de actividad Crear cuestionarios y competencias – Apéndice D.1	114
Figura 86. Diagrama de actividad Crear prácticas interactivas – Apéndice D.1	115
Figura 87. Diagrama de actividad Revisión y consulta de entregas – Apéndice D.1	116
Figura 88. Diagrama de actividad Acceso a contenidos complementarios – Apéndice D.1	117
Figura 89. Diagrama de actividad Realizar Actividades Estudiante – Apéndice D.1	118
Figura 90. Diagrama de secuencia Gestión de usuarios – Apéndice D.2.....	119
Figura 91. Diagrama de secuencia Visualizar estadísticas del sistema – Apéndice D.2.....	119
Figura 92. Diagrama de secuencia Crear y configurar curso – Apéndice D.2	120
Figura 93. Diagrama de secuencia Crear Cuestionario o Competencia – Apéndice D.2	121
Figura 94. Diagrama de secuencia Gestión de modelos moleculares 2D/3D – Apéndice D.2 ..	122
Figura 95. Diagrama de secuencia Visualización de resultados – Apéndice D.2	123
Figura 96. Diagrama de secuencia Crear práctica con simuladores o estructura – Apéndice D.2	124
Figura 97. Diagrama de secuencia Revisión y retroalimentación de entregas – Apéndice D.2.	125
Figura 98. Diagrama de secuencia Acceso a materiales complementarios – Apéndice D.2	125

Figura 99. Diagrama de secuencia Realización y entrega de actividades – Apéndice D.2	126
Figura 100. Diagrama de secuencia Creación de Modelo Molecular 2D/3D – Apéndice D.2 ..	127
Figura 101. Evidencias Pruebas de usuario con docentes (Prototipo de alta fidelidad) – Apéndice E.1	128
Figura 102. Evidencias Pruebas de usuario con estudiantes (Prototipo de alta fidelidad) – Apéndice E.2	129
Figura 103. Resultados Encuesta de prototipo Estudiantes (Pregunta 1) – Apéndice E.3	129
Figura 104. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 2) – Apéndice E.3.....	130
Figura 105. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 3) – Apéndice E.3.....	130
Figura 106. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 4) – Apéndice E.3.....	130
Figura 107. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 5) – Apéndice E.3.....	131
Figura 108. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 6) – Apéndice E.3.....	131
Figura 109. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 7) – Apéndice E.3.....	131
Figura 110. Resultados Encuesta prototipo Docentes (pregunta 1) – Apéndice E.3.....	132
Figura 111. Resultados Encuesta prototipo Docentes (pregunta 2) – Apéndice E.3.....	132
Figura 112. Resultados Encuesta prototipo Docentes (pregunta 3) – Apéndice E.3.....	133
Figura 113. Resultados Encuesta prototipo Docentes (pregunta 4) – Apéndice E.3.....	133
Figura 114. Resultados Encuesta prototipo Docente (pregunta 5) – Apéndice E.3	133
Figura 115. Resultados Encuesta prototipo Docentes (pregunta 6) – Apéndice E.3.....	134
Figura 116. Evidencias Pruebas de usuario (Plataforma desplegada) – Apéndice F.....	135
Figura 117. Configuración Encuesta emergente en Hotjar – Apéndice G.1	136
Figura 118. Encuesta emergente en Hotjar (1 de 2) – Apéndice G.1	136
Figura 119. Encuesta emergente en Hotjar (2 de 2) – Apéndice G.1	137
Figura 120. Rendimiento de la encuesta emergente en Hotjar – Apéndice G.1	138
Figura 121. Resultados de encuesta emergente Hotjar (pregunta 1) – Apéndice G.1	138
Figura 122. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 2) – Apéndice G.1	138
Figura 123. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 3) – Apéndice G.1	139
Figura 124. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 4) – Apéndice G.1	139
Figura 125. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 5) – Apéndice G.1	139
Figura 126. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 6) – Apéndice G.1	140
Figura 127. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 7) – Apéndice G.1	140
Figura 128. Informe de la encuesta en Hotjar (1 de 2) – Apéndice G.2.....	141
Figura 129. Informe de la encuesta en Hotjar (2 de 2) – Apéndice G.2.....	141
Figura 130. Captura del Session Recording Pantalla Dashboard estudiante – Apéndice H.1 ...	142

Figura 131. Captura del Session Recording Pantalla Práctica Vitamina C – Apéndice H.1	142
Figura 132. Captura del Session Recording Pantalla Encuesta emergente – Apéndice H.1.....	143
Figura 133. Capturas Mapas de Calor de la plataforma – Apéndice H.2	143
Figura 134. Captura Mapa de calor con Zona Engagement – Apéndice H.2.....	144

Índice de tablas

Tabla 1. Historias de usuario clave de la plataforma	33
Tabla 2. Comparativa técnica de todas las herramientas probadas	36
Tabla 3. Participantes de la Evaluación del Prototipo.....	48
Tabla 4. Distribución de participantes por modalidad y características demográficas	57
Tabla 5. Métricas Principales de Interacción.....	59
Tabla 6. Análisis de tráfico por módulo de la plataforma.....	60
Tabla 7. Indicadores comportamentales derivados de session recordings.....	63
Tabla 8. Distribución de respuestas NPS	64
Tabla 9. Resultados encuesta de satisfacción	64

Capítulo 1

1. Introducción

1.1 Descripción del Problema

Las asignaturas de Química Alimentaria y Bioquímica representan un reto académico constante para los estudiantes universitarios. Su complejidad no solo radica en la amplitud de sus contenidos, sino también en la necesidad de poder aplicar esta teoría con la práctica experimental. Algunos laboratorios no cuentan con los suficientes recursos, ya sea por limitaciones presupuestarias, de espacio o de mantenimiento, los estudiantes pierden la oportunidad de reforzar lo aprendido en clase mediante experiencias que resultan fundamentales para la formación científica. La falta de espacios de práctica adecuados no solo reduce la comprensión de los fenómenos químicos, sino que también limita el desarrollo de habilidades de investigación y análisis crítico (*Abrahams2008Doespractical.pdf*, 2025).

Esta carencia de espacios adecuados para la práctica no es un fenómeno aislado. En distintos informes educativos se advierte que las dificultades para dominar estas materias persisten a lo largo del tiempo, particularmente en carreras vinculadas a las ciencias. En Ecuador, la situación educativa demuestra que Química General, materia que se impartía durante el primer año en las ingenierías de la ESPOL, constituyó un desafío importante para quienes la estudiaban. Los reportes de 2016 y 2017 reflejan que cerca de una cuarta parte de quienes la cursaron no lograron superarla en el primer intento, con porcentajes que oscilaron entre el 22% y el 26% en los distintos períodos analizados (Johanna del Rocio Barzola Sarmiento, s. f.).

En América Latina, la UNESCO ha indicado que varios laboratorios universitarios no cumplen con los estándares básicos de seguridad y equipamiento. Esta situación crea una separación que afecta la calidad de la educación y reduce las posibilidades de las instituciones para relacionar la teoría con la práctica (Audrey, Azoulay, 1945). Por otro lado, enseñar conceptos como las conformaciones moleculares, las rutas metabólicas o la acción enzimática necesita de apoyos visuales dinámicos que ayuden a la comprensión. Sin embargo, la mayoría de instituciones

todavía mantiene un modelo expositivo tradicional, con poco uso de metodologías activas o herramientas tecnológicas que promuevan la participación de los estudiantes.

En Ecuador, estos problemas se intensifican debido a las diferencias en el acceso a infraestructura tecnológica y materiales de apoyo educativo entre las diferentes universidades. Aunque la SENESCYT ha reconocido que hay progresos en la actualización de la educación universitaria, aún existen restricciones importantes en el área de laboratorios para ciencias aplicadas, lo cual influye en las posibilidades de aprendizaje experimental (Senescyt, 2025) .

Frente a esta realidad, se hace clara la importancia de promover alternativas educativas novedosas que apoyen las prácticas de laboratorio convencionales. El uso de ambientes virtuales y simulaciones de moléculas no pretende sustituir la experiencia de laboratorio, sino fortalecerla, brindando a los estudiantes una opción que les permita mejorar su comprensión de los conceptos, aumentar su interés y disminuir la distancia entre la teoría y la práctica en la educación universitaria científica.

1.2 Justificación del Problema

En las universidades de ahora, enseñar materias científicas como Química Alimentaria y Bioquímica presenta diferentes desafíos, principalmente porque no hay suficiente acceso a laboratorios que funcionen bien y porque es complicado adaptar las formas tradicionales de enseñanza a los entornos virtuales y mixtos. Estos problemas, tanto de recursos materiales como educativos, demuestran la necesidad urgente de repensar las estrategias de enseñanza en estas áreas, incorporando soluciones tecnológicas que fortalezcan el aprendizaje significativo y autónomo de los estudiantes.

Este proyecto aparece justamente para cubrir esa necesidad. La idea es desarrollar una plataforma virtual que tenga elementos visuales e interactivos, pero que además esté muy conectada con los contenidos de las materias mencionadas. A diferencia de otras herramientas como PhET *Interactive Simulations* (Carl, 2002) o Kahoot! (Morten Versvik, Brand y Brooker,

2013), que ofrecen recursos útiles, pero con un enfoque más amplio o de juegos, esta plataforma busca una integración educativa más completa. La idea es crear un espacio donde los estudiantes puedan trabajar con los conceptos a través de simulaciones temáticas con guía, cuestionarios que se adapten y reportes personalizados que le permitan al profesor seguir el avance de manera constante.

Investigaciones recientes han mostrado que las plataformas con sistemas adaptativos y mecanismos de retroalimentación automática no solo mejoran el entendimiento de los temas, sino que también ayudan a que se retenga mejor el conocimiento y aumentan el compromiso del estudiante. (Banda, 2021; Banda & Nzabahimana, 2023; Cortés-Pérez et al., 2023) Estas herramientas permiten ajustar la dificultad de las actividades según cómo le vaya a cada estudiante, encontrar áreas problemáticas en el momento y motivar la participación activa durante todo el proceso de aprendizaje.

Aunque hay plataformas conocidas que ofrecen simulaciones científicas interactivas, como *PhET*, su alcance suele ser limitado cuando se trata de integrar contenidos específicos de Química Alimentaria y Bioquímica con herramientas de evaluación formativa y seguimiento personalizado. Es precisamente ese vacío el que busca llenar este proyecto.

Además, esta necesidad no es solo teórica. En la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), varios profesores del área han expresado su preocupación por la falta de recursos tecnológicos que apoyen las clases presenciales. Se ha visto que los estudiantes tienen grandes problemas al tratar de entender procesos bioquímicos complejos, especialmente por la ausencia de materiales visuales que faciliten entender mejor el contenido que se enseña en clase.

La plataforma que se propone será desarrollada de manera progresiva. En una primera fase, se enfocará en tres temas que históricamente han sido más difíciles: rutas metabólicas, organización de moléculas como carbohidratos y proteínas, y funciones de las enzimas alimentarias. Estas áreas se escogieron por su complejidad y también porque son importantes en

el programa académico. La herramienta va a tener visualizaciones en 2D y 3D, y actividades prácticas que ayuden a reforzar los contenidos teóricos de manera dinámica y fácil de usar. Después se puede pensar en ampliar las funciones para hacer simulaciones más complejas, como si fueran laboratorios virtuales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una plataforma virtual interactiva que mejore la comprensión de procesos químicos y bioquímicos en estudiantes universitarios, facilitando también al docente la creación de recursos educativos dinámicos y el seguimiento del progreso académico.

1.3.2 Objetivos específicos

- Crear una plataforma web que contenga temas importantes de Química Alimentaria y Bioquímica, priorizando aquellos contenidos que presentan mayor complejidad dentro del programa académico.
- Implementar módulos interactivos en 2D y visualizaciones en 3D que permitan explorar conceptos químicos de forma visual y didáctica.
- Desarrollar herramientas de evaluación formativa y seguimiento que sean útiles tanto para estudiantes como para profesores.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Educación en Ciencias y Desafíos Pedagógicos

Enseñar ciencias en las universidades presenta problemas importantes, especialmente en materias que necesitan que los estudiantes entiendan bien conceptos abstractos, como ocurre con Química Alimentaria y Bioquímica. Una de las dificultades principales está en la poca conexión que existe entre la teoría y la práctica, lo que afecta directamente la formación de competencias científicas. Según Tobón (2021), esta separación no permite que los estudiantes desarrollen un

entendimiento completo de los contenidos y reduce su capacidad para usarlos en situaciones reales (researchgate, s. f.).

El enfoque tradicional basado en la exposición teórica continúa siendo dominante en las universidades, limitando que los estudiantes participen activamente y complicando que adquieran habilidades de razonamiento científico e interpretación de datos. Esto hace necesario usar metodologías que generen experiencias de aprendizaje dinámicas, conectadas al entorno real y con apoyo tecnológico.

1.4.2 Tecnologías Educativas en la Enseñanza de las Ciencias

Las herramientas digitales han cambiado mucho la educación, especialmente en cómo los estudiantes aprenden y los profesores enseñan. Sistemas como *Moodle*, *Canvas* y *Blackboard* se han vuelto muy comunes en las universidades porque ayudan a organizar mejor las clases, ver cómo van los estudiantes y dar comentarios más rápido (Gamage et al., 2022).

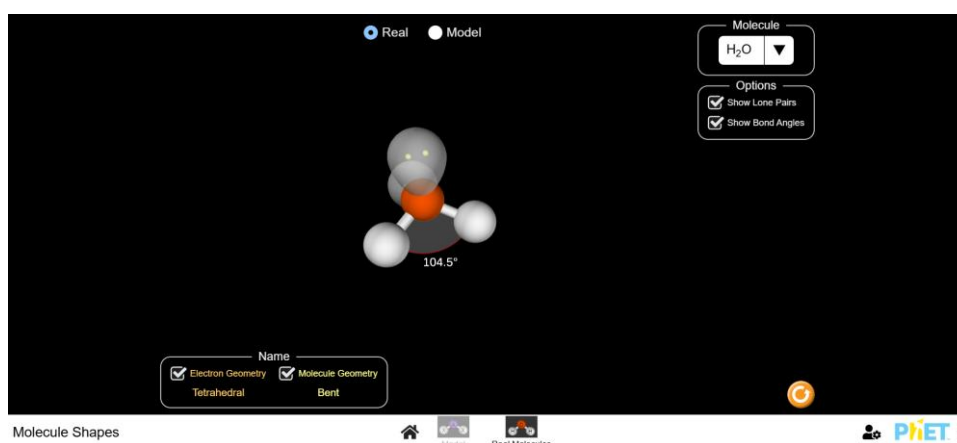
Según Area y Adell (Jordi, s. f.), el aprovechamiento educativo de las TIC no solamente mejora el acceso a los materiales de aprendizaje, sino que también cambia la función del profesor, favoreciendo una enseñanza que se enfoca en el estudiante. Esta transformación de enfoque ha impulsado el crecimiento de Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA), donde se pueden combinar recursos multimedia, actividades interactivas y espacios de trabajo conjunto que motivan el aprendizaje independiente.

1.4.2.1 Entornos Virtuales y Simulación Educativa

Los EVA ayudan a mostrar procesos complicados usando simulaciones que pueden reemplazar o apoyar las prácticas de laboratorio. Un caso muy conocido es *PhET Interactive Simulations*, que creó la Universidad de Colorado y que deja que los estudiantes cambien diferentes elementos y vean qué pasa al momento, en un espacio seguro y ameno (ver Figura 1) (Carl, 2002).

Varios estudios en países como México, Brasil y Finlandia han encontrado mejoras importantes en cómo entienden los conceptos los estudiantes que usan simuladores interactivos, sobre todo en materias como química general y bioquímica (Souza & Siqueira, 2025; Telenius, 2014; Universidad Nacional Autónoma de México, s. f.). Estas herramientas hacen que sea más fácil aprender de manera activa y ayudan a recordar mejor lo que se aprende.

Figura 1. Interfaz de simulación de geometría molecular en PhET



Nota. Adaptado de *PhET Interactive Simulations*, por University of Colorado Boulder, s.f., https://phet.colorado.edu/sims/html/molecule-shapes/latest/molecule-shapes_en.html. © University of Colorado Boulder.

1.4.2.2 Visualización Molecular Interactiva

La representación gráfica de compuestos químicos en 2D y 3D resulta algo fundamental para comprender mejor los procesos bioquímicos. Existen herramientas como *ChemTube3D* (chemtube, s. f.) , *MolView* (molview, 2012) o *Avogadro* (Avogadro, s. f.) las cuales permiten visualizar estructuras moleculares, observar interacciones químicas y explorar propiedades tridimensionales que de otra forma serían difíciles de explicar de manera teórica.

En el caso de *ChemTube3D*, por ejemplo, los modelos permiten examinar el plegamiento de proteínas y la geometría molecular de compuestos orgánicos, lo que

enriquece la comprensión de su función biológica y su comportamiento en distintas condiciones (ver Figura 2).

Figura 2. Modelo del plegamiento de proteínas en ChemTube3D



Nota. Adaptado de *ChemTube3D - Protein Folding*, por University of Liverpool, s.f., <https://www.chemtube3d.com/proteinframe/>. © ChemTube3D.

1.4.3 Herramientas para el Desarrollo de Simulaciones Educativas

La creación de simulaciones interactivas en plataformas web requiere el uso de herramientas de desarrollo específicas. *Three.js* (Ricardo ,Cabello, 2010) , una biblioteca basada en JavaScript, se ha consolidado como una de las opciones más eficientes para generar gráficos tridimensionales en navegadores. En paralelo, *JSmol* —una evolución de *Jmol* (java, s. f.) — permite visualizar estructuras químicas sin necesidad de plugins adicionales, lo que mejora la compatibilidad y el acceso desde distintos dispositivos.

También, existen herramientas como *Ketcher* (molDraw, s. f.) que sirven para editar estructuras en 2D, librerías como *RDKit* (Greg, 2019) y *Open Babel* (Matt Stahl, Pat Walters y Daniel P, 2001) que permiten analizar compuestos químicos desde el aspecto computacional, lo que facilita ponerlas en sistemas educativos que funcionan con Python, como *Django* (Adrian

Holovaty, s. f.). Estas herramientas no solo hacen posible ver las moléculas de manera precisa, sino que también abren posibilidades para crear entornos interactivos que sean más accesibles y flexibles.

1.4.4 Gamificación y Plataformas Educativas Destacadas

Usar elementos de juegos en la educación ha resultado ser una buena forma de aumentar la motivación y el interés de los estudiantes. Plataformas como *Kahoot!*, *Quizizz* o *Classcraft* dejan integrar preguntas interactivas, competencias entre grupos y sistemas de premios que despiertan el interés por aprender. Según Domínguez et al. (2013), la gamificación ayuda al pensamiento crítico, la participación activa y el aprendizaje significativo (Domínguez et al., 2013).

Otras plataformas, como *Khan Academy* y *PhET*, incluyen sistemas de retroalimentación instantánea y contenidos que se adaptan y apoyan el progreso individual. *Gaussian*, por su lado, se usa en niveles avanzados de química computacional para modelar estructuras electrónicas y predecir propiedades moleculares con exactitud científica (John, 1990).

1.4.5 Evaluación y Retroalimentación en Ambientes Virtuales

Una de las mayores fortalezas de las plataformas digitales es que tienen la capacidad de proporcionar evaluaciones personalizadas y monitorear constantemente el desempeño estudiantil. Herramientas como *Edpuzzle* (Quim, 2022) o como los módulos de evaluación de *Moodle* (Martin, 2002) permiten la creación de actividades personalizadas, la elaboración de informes sobre el desempeño y la entrega instantánea de retroalimentación. Esto ayuda a una enseñanza enfocada en las necesidades del estudiante.

Además, al incluirse la analítica del aprendizaje, se posibilita la identificación de patrones conductuales, anticipar dificultades y tomar decisiones pedagógicas fundamentadas. Según García-Peñalvo (2020), resulta esencial para perfeccionar la intervención de los maestros y elevar la calidad del proceso educativo (Vázquez-Ingelmo et al., 2021).

1.4.6 Fundamentos Teóricos del Aprendizaje Interactivo

El diseño de espacios educativos en línea debe fundamentarse en teorías de aprendizaje que orienten su estructura y operación. Lo que el estudiante ya conoce es la base para desarrollar aprendizajes significativos (*Chapter13.pdf*, s. f.) . Desde esta premisa, es fundamental enfatizar el diseño de actividades que se vinculen con los saberes previos del alumno y que faciliten su progreso de manera comprensible y lógica.

Bruner y Piaget, dos teóricos del constructivismo, enfatizan la importancia de investigar de modo activo y descubrir durante el proceso de aprendizaje. Siguiendo esta línea, Vygotsky presenta el término Zona de Desarrollo Próximo, destacando la importancia de la mediación pedagógica y del acompañamiento para que el estudiante obtenga niveles más altos de conocimiento (Bruner, s. f.; Piaget, 2025).

Estos métodos teóricos apoyan la implementación de plataformas que proporcionen interacción, retroalimentación instantánea y asistencia pedagógica a tiempo, lo cual mejora la autonomía y la participación activa del estudiante en su proceso educativo.

Capítulo 2

2. Metodología

2.1 Enfoque metodológico general del proyecto

El software se desarrolló mediante un proceso de desarrollo ágil, ya que aprender a desarrollar software es en sí mismo un proceso de aprendizaje evolutivo. Se eligió el proceso de desarrollo SCRUM porque contaba con un marco de iteración por sprint que permitía la planificación incremental, la mejora constante y la flexibilidad para responder a la retroalimentación de los usuarios. Esto resultó especialmente apropiado en una situación en la que las necesidades pedagógicas habrían cambiado una vez iniciado el proceso de diseño.

La fase inicial, comprendió el Sprint 1 y tuvo una duración aproximada de un mes. Esta fase se componía de la planificación, el diseño y el análisis del sistema. Las reuniones técnicas entre el tutor del proyecto y el cliente académico del Departamento de Química de la ESPOL definieron los requisitos funcionales y no funcionales del sistema. En dichas reuniones se definieron las historias de usuario, en las que se basó el diseño posterior.

Para este sprint, se diseñaron diagramas UML —como casos de uso, actividades y arquitectura general del sistema—, los cuales facilitaron la visualización de las interacciones clave entre los numerosos componentes del software. Aunque el desarrollo aún no había comenzado, se realizaron pruebas exploratorias para decidir la herramienta de visualización óptima para la estructura molecular, por ejemplo, *ChemDoodle* (Todsén, 2014) , *JSME* (Google Web Toolkit (GWT), s. f.) , *RDKit* y *Ketcher*. Se evaluaron todas estas herramientas en términos de velocidad, compatibilidad con estándares de tecnología web (p. ej., JavaScript), documentación, términos de uso (términos de licencia) y facilidad de integración con bases de datos.

La coordinación del proyecto se gestionó mediante un archivo de Hojas de Cálculo de Google editado conjuntamente que contenía un diagrama de Gantt completo con fechas, entregables y asignados, lo que permitía realizar un seguimiento del estado semanal. Además, el

uso de GitHub también permitió un control de versiones, con una buena trazabilidad de los cambios y coordinación entre los miembros del equipo.

Este marco metodológico contaba con una sólida base técnica que permitía tomar decisiones basadas en la evidencia obtenida en las etapas preliminares. Esto permitió el cumplimiento constante de los objetivos de aprendizaje desde una perspectiva académica, así como flexibilidad para integrar mejoras según la dinámica cambiante del entorno universitario.

2.2 Levantamiento de requerimientos

La recopilación de requisitos se llevó a cabo mediante sesiones de trabajo con el tutor del proyecto y el cliente académico. Estas reuniones de consulta permitieron identificar, aclarar y priorizar las necesidades actuales en la enseñanza de la Química de Alimentos y la Bioquímica, con el fin de crear una solución tecnológica adecuada para el entorno de aprendizaje específico.

Con base en las conclusiones del análisis conjunto, se identificaron los siguientes requisitos clave:

- **Requerimientos Funcionales:**
 - **Para el *administrador*:** gestión de modelos moleculares (carga, organización y mantenimiento de la biblioteca del sistema).
 - **Para el *profesor*:** desarrollo de ejercicios interactivos mediante simuladores 2D/3D, desarrollo de cuestionarios y competencias académicas, y consulta de los informes de rendimiento de los estudiantes.
 - **Para el *estudiante*:** acceso a actividades con calificación, realización de ejercicios de práctica independiente y retroalimentación automática inmediata tras la finalización de los ejercicios.
- **Requerimientos No Funcionales:**

- Acceso multiplataforma desde cualquier navegador sin necesidad de instalación local.
- Compatibilidad con dispositivos móviles y de escritorio.
- Interfaz intuitiva y amigable, compatible con todos los perfiles.
- Navegación fluida y tiempo de respuesta rápido.
- Procesamiento de datos personales conforme a los mejores estándares internacionales al interactuar en entornos de aprendizaje en línea.

Dados estos requisitos, la versión final consolidada de las historias de usuario fue revisada conjuntamente por el profesor, el tutor y el cliente del proyecto. Estas historias sirvieron de base para casos de uso y capacidades en plataformas específicas. A continuación, se presentan las historias de usuario más importantes (Tabla 1).

Para visualizar todas las historias de usuario por rol de la plataforma se encuentra en el **Apéndice A**.

Tabla 1. Historias de usuario clave de la plataforma

ID	Rol	Funcionalidad Principal	Resultado Esperado
ADM004	Administrador	Crear, cargar y organizar modelos moleculares 2D y 3D en la biblioteca del sistema	Disponer una base estructurada de simuladores para profesores y estudiantes
PROF008	Profesor	Duplicar y modificar modelos moleculares existentes o crear uno desde cero	Diseñar estructuras específicas para actividades evaluadas o exploratorias
PROF006	Profesor	Crear prácticas interactivas con simuladores y modelos 2D/3D	Asignar ejercicios manipulables alineados con los objetivos del curso

PROF004	Profesor	Crear cuestionarios interactivos con distintos tipos de preguntas	Evaluar el aprendizaje a través de preguntas prácticas interactivas
PROF005	Profesor	Crear competencias académicas interactivas con código de acceso	Evaluar en vivo el conocimiento de forma lúdica tanto de forma individual como grupal
EST001	Estudiante	Realizar actividades asignadas: cuestionarios, prácticas y competencias	Entregar respuestas para ser evaluado por el docente
EST007	Estudiante	Realizar prácticas voluntarias no asignadas por el profesor	Reforzar conocimientos por cuenta propia sin afectar la nota

Nota. Elaboración propia basada en reuniones con cliente académico y tutor del proyecto.

2.3 Evaluación tecnológica

En esta primera etapa de nuestra tarea, se realizó un estudio comparativo para evaluar algunas herramientas tecnológicas que se implementarían con la creación de una plataforma en línea para la enseñanza de Química Alimentaria y Bioquímica. El objetivo era determinar dispositivos capaces de gestionar la construcción, composición y visualización de moléculas en formatos 2D y 3D sin necesidad de instalación local.

Uno de los primeros programas examinados fue *Ketcher*, un editor de moléculas JavaScript creado para la representación bidimensional de compuestos químicos. Al ser relativamente simple y fácil de usar, resultó muy atractivo para los usuarios finales. Lamentablemente, carecía de compatibilidad nativa para la integración con bibliotecas externas de análisis químico como *RDKit*, *Open Babel* o *3Dmol.js*. Este aspecto lo hacía menos atractivo para soluciones más avanzadas que implicaran procesamiento automático o interoperabilidad entre la edición 2D y los motores de visualización 3D.

También se probaron los componentes web *ChemDoodle*. Además de la creación de diagramas moleculares directamente en el navegador, este programa ofrece la posibilidad de exportar estructuras en formato SMILES¹, uno de los métodos tradicionales para representar computacionalmente compuestos químicos. Esta función resultó especialmente útil para lograr un flujo de trabajo entre los diagramas moleculares creados por el usuario y las operaciones de procesamiento posteriores.

Para facilitar su uso, se eligió *JSME Molecular Editor*, un software ligero y multiplataforma que permite crear moléculas directamente en HTML5. Su compatibilidad con los navegadores actuales y su licencia de código abierto lo hicieron idóneo para su uso como componente principal del editor de moléculas en la plataforma.

Por último, se incorporó *RDKit* que es una biblioteca científica de acceso abierto que puede convertir cadenas SMILES en modelos 3D, calcular propiedades moleculares y crear visualizaciones interactivas. *RDKit* es un recurso invaluable para la visualización de datos moleculares textuales. Con él, los estudiantes comprenderán mejor la geometría y la estructura de las moléculas.

Estas herramientas de software se seleccionaron teniendo en cuenta diversos factores, como la compatibilidad (en particular con frameworks como *Django*), la velocidad, la calidad de la documentación, las condiciones de licencia abiertas y su idoneidad para el entorno académico. La interoperabilidad entre *JSME*, *ChemDoodle* y *RDKit* permitió crear un sistema de navegador para la creación y visualización interactiva de compuestos químicos.

Los resultados del análisis comparativo se muestran en la Tabla 2, la cual evidencia las fortalezas y limitaciones observadas durante el proceso de evaluación técnica.

¹ Smiles (Simplified Molecular Input Line Entry System) es un sistema simplificado de entrada lineal para representar estructuras moleculares en forma de texto.

Tabla 2. Comparativa técnica de todas las herramientas probadas

Herramienta	Funcionalidad principal	Ventajas destacadas	Limitaciones observadas	Rendimiento
Ketcher	Edición de estructuras 2D en el navegador	Interfaz intuitiva, integración básica en HTML	Poca compatibilidad con bibliotecas externas como RDKit u Open Babel	Adecuado para ediciones simples, suele sentirse pesado a medida que crece el proyecto.
ChemDoodle	Generación de estructuras y cadenas SMILES	Compatible con formatos estándar, buena documentación	Requiere configuración adicional para integrarse con otros módulos	Moderado: Depende de la configuración dada por el cliente.
JSME	Editor molecular HTML5 interactivo	Ligero, licencia abierta, fácil de incorporar en plataformas web	Funciones limitadas a edición básica, sin cálculos avanzados	Alto: Ligero y ofrece una respuesta rápida del lado del cliente.
RDKit (librería)	Análisis químico computacional y visualización 3D	Soporta SMILES, visualización 3D, propiedades moleculares	Necesita puente de integración con el frontend para interfaz gráfica	Alto, en servidor; depende del hardware.
Microservicio RDkit (Flask + Render)	Expone los cálculos RDkit vía Api Rest	Desacopla el cálculo, es escalable e integrable con Django	Latencia de red: cold starts en planes gratuitos	Moderado: Debido a la latencia en el plan gratuito, suele ser sensible a cold start.

PubChem Api	Consulta/busca compuestos y metadatos	Base publica y estandarizada amplía base de datos	Límite de tasa: dependencia de servicio externo	Latencia variable, aunque suele dar generalmente respuestas rápidas.
Konva.js	Permite la interacción en 2D	UI dinámica, fácil de integrar con HTML5 Canvas	No es una librería química, requiere lógica propia para los átomos y enlaces	Alto en tareas gráficas 2D en navegadores modernos.

Nota. Tabla elaborada por el autor con base en pruebas exploratorias realizadas durante la fase inicial del proyecto y se complementó con pruebas realizadas con usuarios reales con el proyecto ya en producción.

2.4 Diseño de la solución

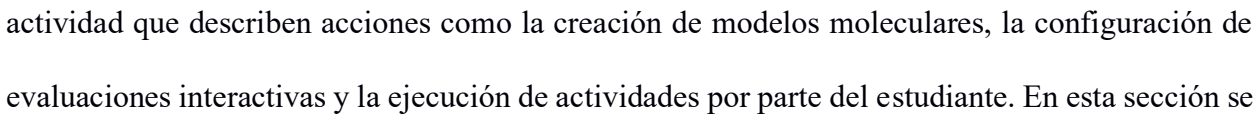
Como parte del diseño conceptual, se elaboraron varios diagramas UML que sirvieron para modelar el comportamiento del sistema. Entre ellos se encuentran diagramas de casos de uso, diagramas de actividades, de secuencia y diagrama de clase, que permitieron definir las funciones principales de cada rol del sistema, visualizar flujos de procesos clave y anticipar la estructura lógica de la solución. Estos artefactos resultaron fundamentales para validar con el tutor y el cliente que la solución propuesta respondía adecuadamente a los requerimientos identificados

2.4.1 Diagramas UML

2.4.1.1 Casos de uso del sistema

Para identificar claramente las funcionalidades del sistema desde la perspectiva de los usuarios, se elaboró un diagrama de casos de uso. Este diagrama permite visualizar qué operaciones puede realizar cada rol (administrador, docente, estudiante) y delimita los servicios ofrecidos por la plataforma a nivel funcional.

2.4.1.2 Diagramas de actividad



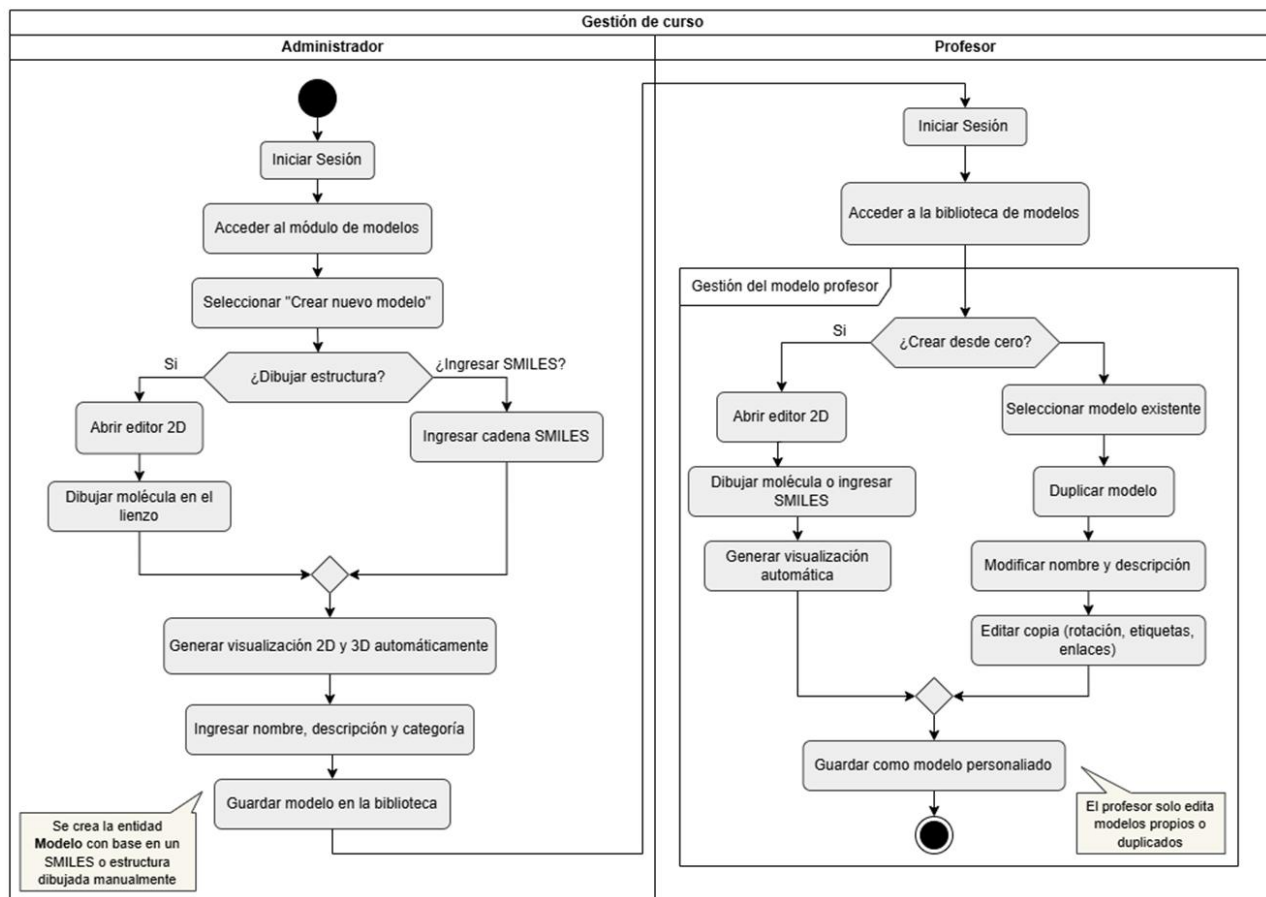
Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025

presentan únicamente los tres diagramas más representativos; el resto se incluye en el **Apéndice**

D.1.

Figura 4. Diagrama de Actividad - Creación de Modelos Moleculares

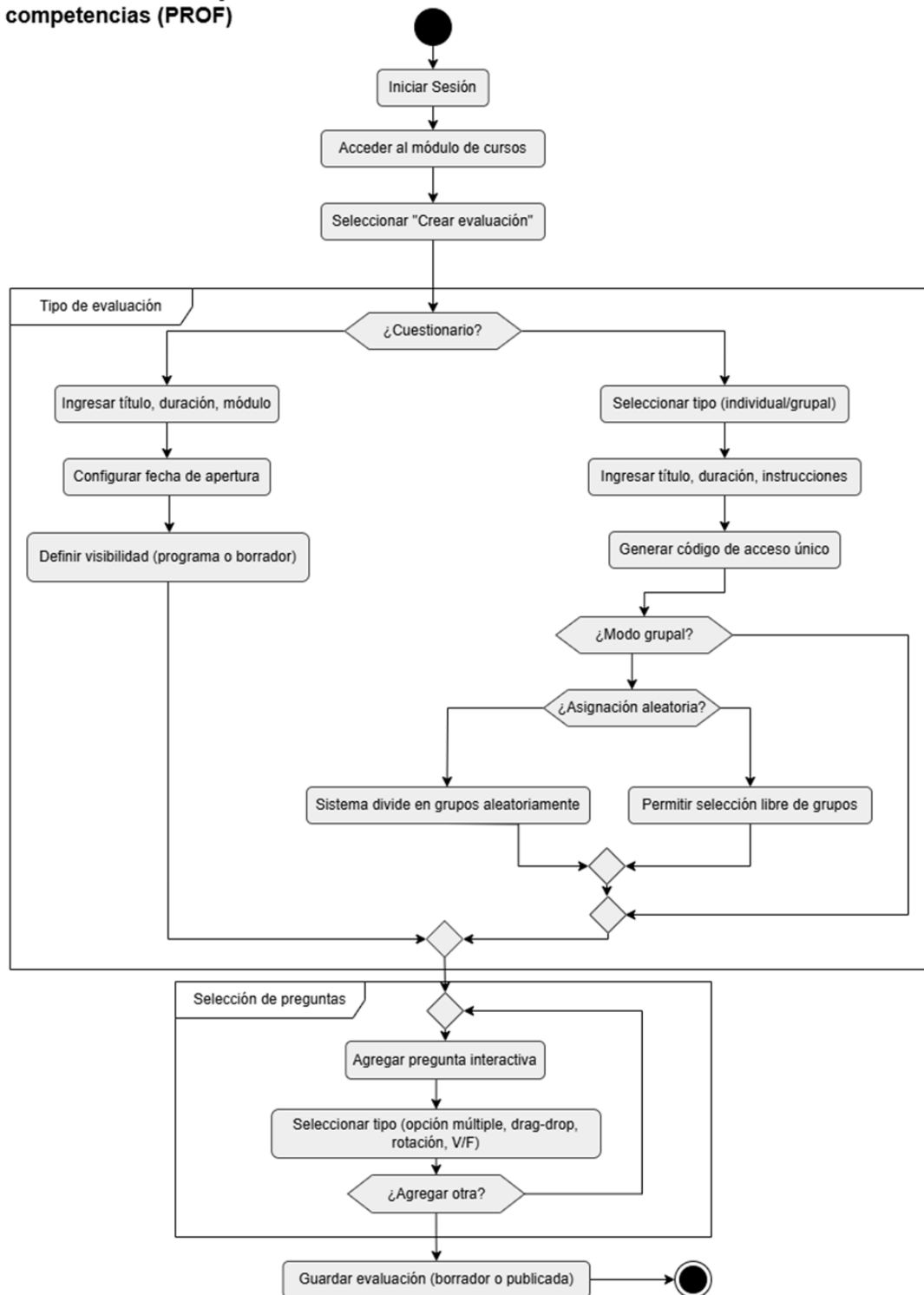
Crear modelo 2D/3D



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025

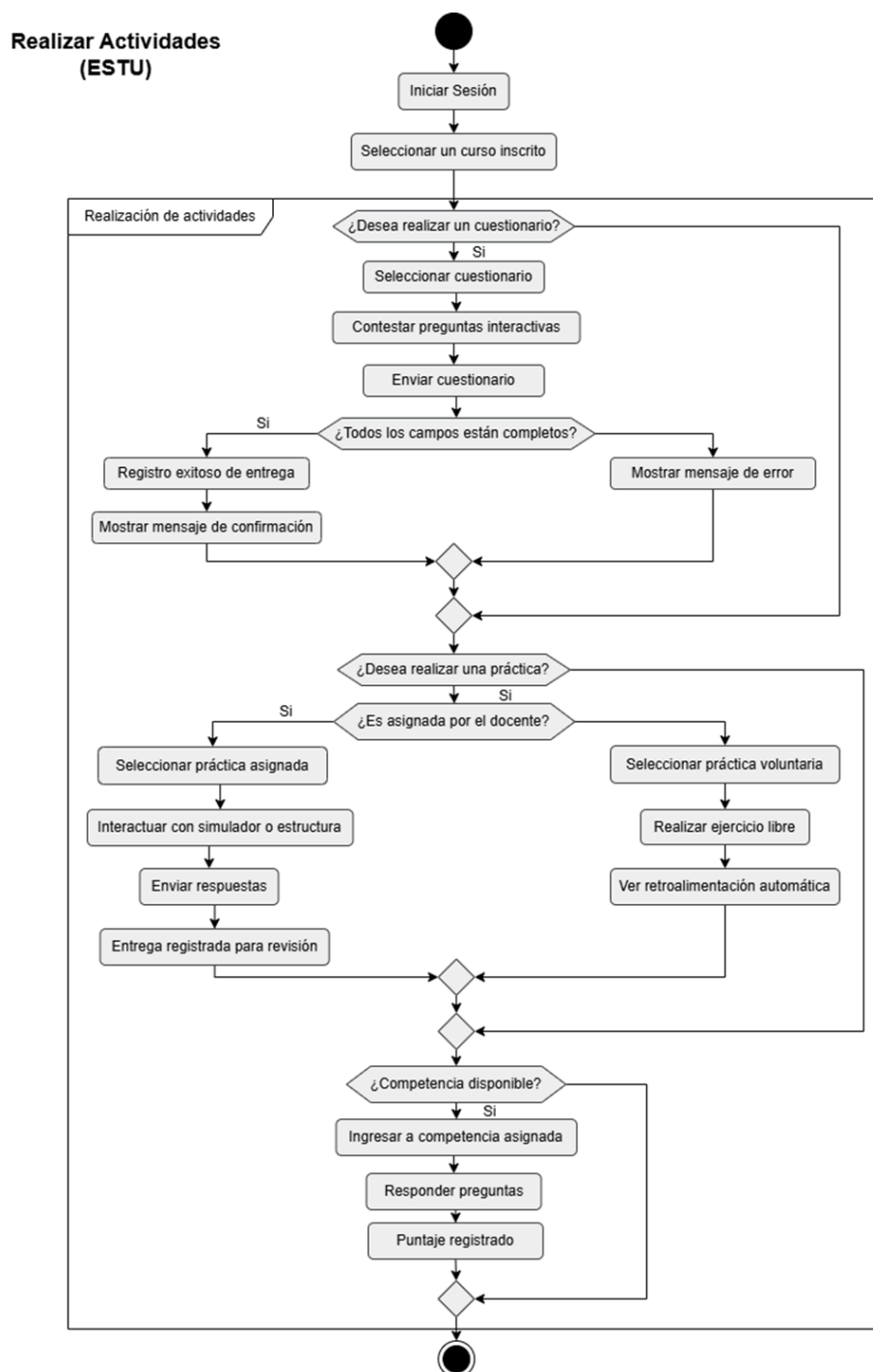
Figura 5. Diagrama de Actividad - Configuración de Evaluaciones Interactivas

Crear cuestionarios y competencias (PROF)



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025

Figura 6. Diagrama de Actividad - Ejecución de Actividades por Estudiantes



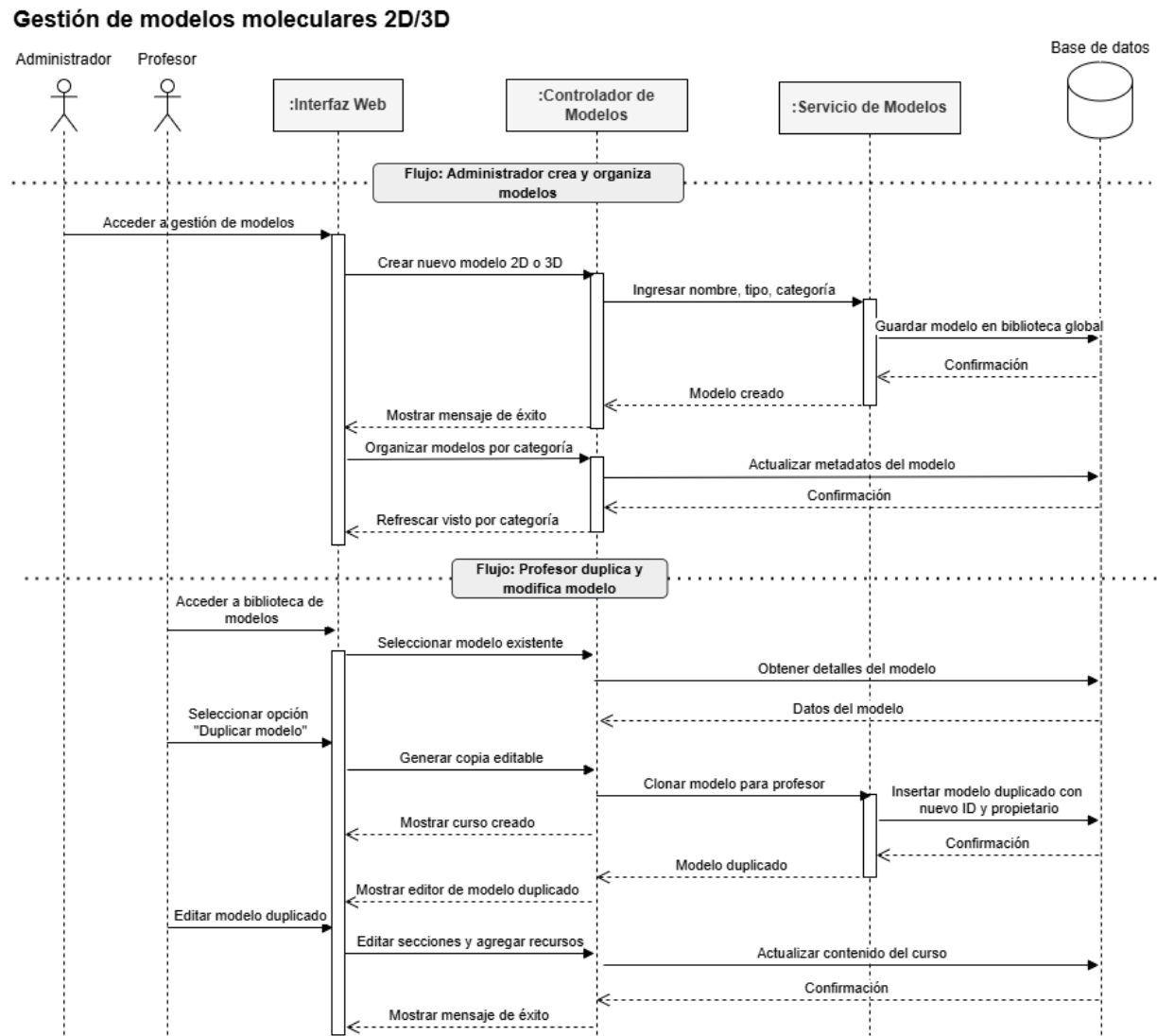
Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025

2.4.1.3 Diagramas de secuencia

Para modelar la interacción entre los componentes del sistema a lo largo del tiempo, se construyeron diagramas de secuencia que reflejan la comunicación entre actores, controladores y

entidades en procesos como la gestión de modelos moleculares, su creación mediante SMILES o lienzo, y la integración de prácticas con simuladores. Se presentan los tres diagramas más relevantes, mientras que los restantes se encuentran en el **Apéndice D.2**.

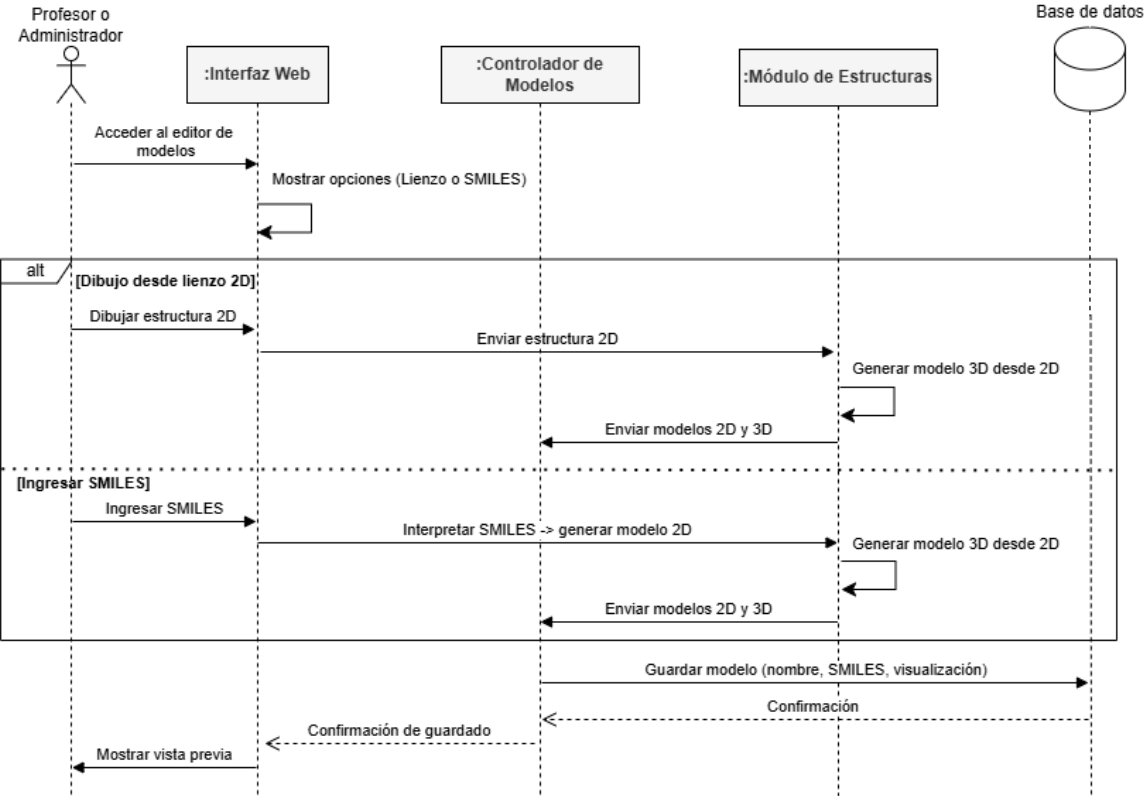
Figura 7. Diagrama de Secuencia - Gestión de Modelos Moleculares



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025

Figura 8. Diagrama de Secuencia - Creación mediante SMILES

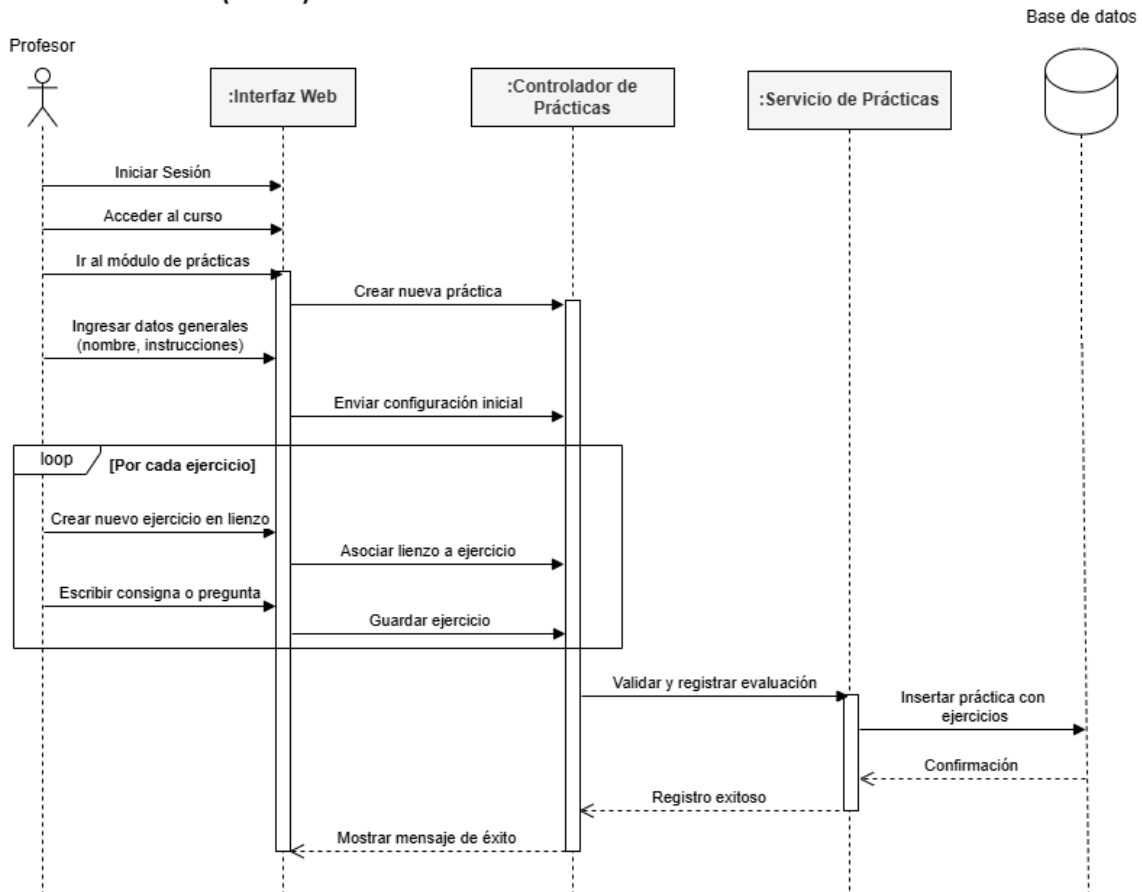
Creación de Modelo Molecular 2D/3D



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025

Figura 9. Diagrama de Secuencia - Integración de Prácticas con Simuladores

Crear Práctica con simuladores o estructura (PROF)

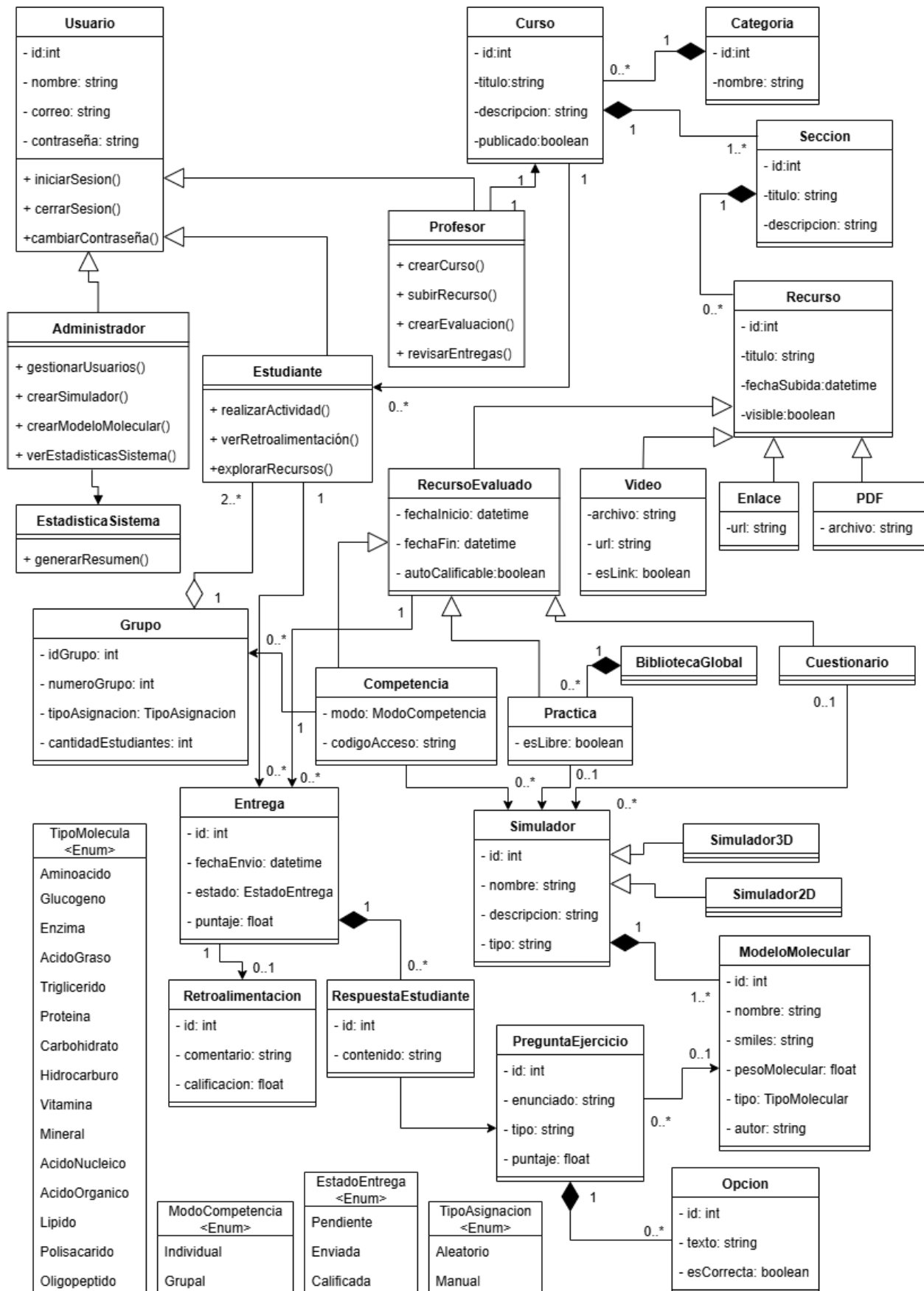


Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025

2.4.1.4 Diagrama de clases

Para definir la base del sistema, se creó un diagrama de clases que muestra los elementos principales, sus características, funciones, permisos y conexiones entre ellos. Esta representación cubre toda la lógica del negocio, abarcando el manejo de cursos, la organización de materiales, las actividades participativas, los simuladores en 2D y 3D, y los sistemas de evaluación.

Figura 10. Diagrama de Clases del Sistema

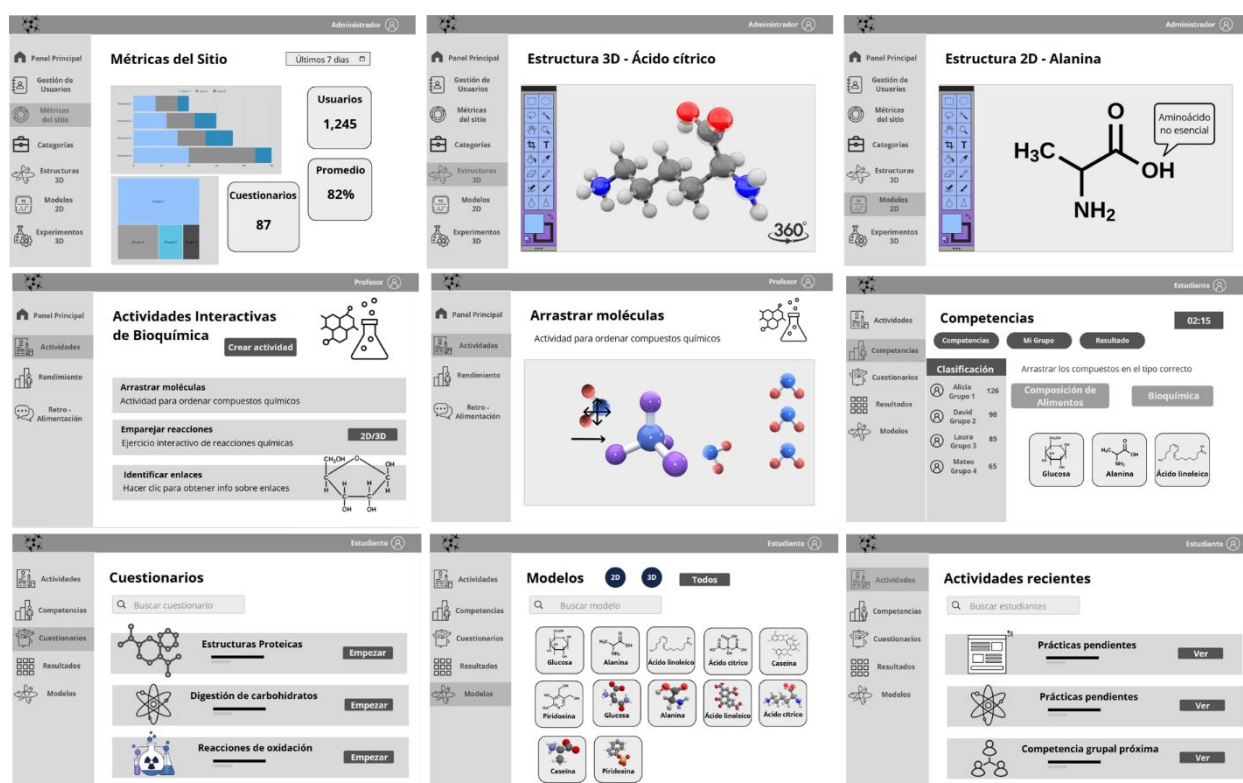


Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025

2.5 Prototipado de baja fidelidad

Con el propósito de evaluar los conceptos iniciales de la interfaz, se desarrolló un prototipo de baja fidelidad empleando la herramienta Canva. Esta maqueta permitió mostrar de manera gráfica y ágil la posible estructuración de las interfaces, barras de navegación y elementos básicos del sistema. Resultó beneficioso durante las sesiones iniciales de revisión junto con el profesor y el tutor, facilitando la obtención de retroalimentación y la identificación temprana de inconvenientes relacionados con el flujo de usuario o la disposición de componentes. Para tener más detalle del prototipo de baja fidelidad, las pantallas se encuentran en el **Apéndice B**.

Figura 11. Prototipo de Baja Fidelidad de la Plataforma



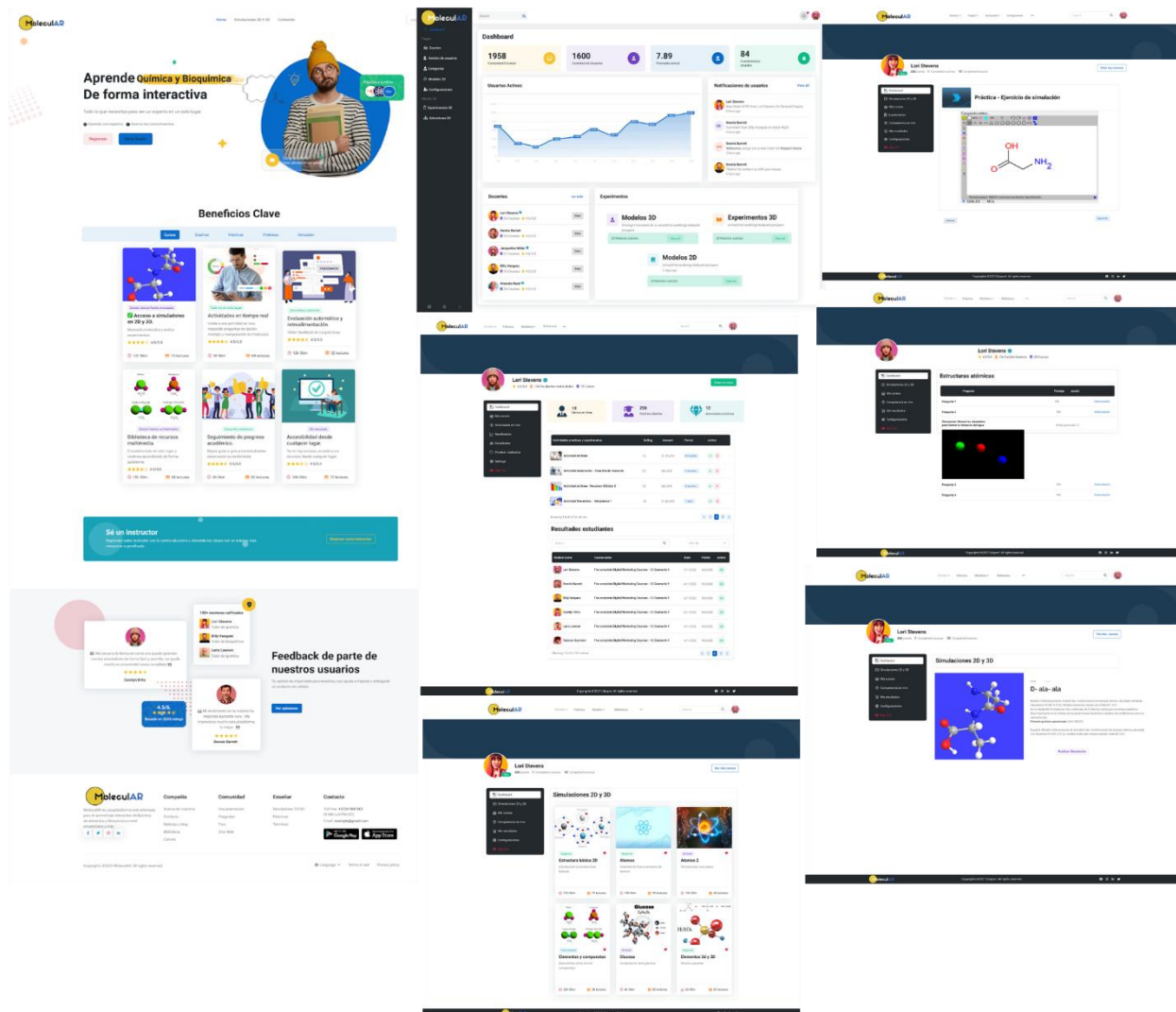
Nota. Elaboración propia realizada en Canva durante la fase inicial de diseño

2.6 Prototipado de alta fidelidad

Basándose en las sugerencias obtenidas del prototipo inicial, se desarrolló un prototipo de alta fidelidad mediante Figma, estableciendo de manera específica los aspectos visuales, la organización de las interfaces, los componentes interactivos y las rutas de desplazamiento entre

módulos. Esta representación visual funcionó como guía principal durante la creación del frontend de la aplicación, transformándose en un elemento fundamental para garantizar la correspondencia entre la propuesta de diseño y la implementación real del sistema. Para tener más detalle del prototipo de alta fidelidad, el resto de pantallas se encuentran en el **Apéndice C**.

Figura 12. Prototipo de Alta Fidelidad Diseñado en Figma



Nota. Elaboración propia realizada en Figma como referencia para el desarrollo del frontend

2.7 Evaluación del prototipo de alta fidelidad

Con el objetivo de comprobar el diseño, facilidad de uso y valor educativo del prototipo, se llevó a cabo una prueba con los usuarios finales: alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos y profesores del departamento de Química de la FIMCP. Esta evaluación persiguió tres

objetivos centrales: confirmar que la propuesta de interfaz resultara transparente y fácil de entender, analizar si el desplazamiento y secuencia de tareas educativas era natural para los usuarios, e identificar aspectos problemáticos que requirieran ajustes previos a la implementación definitiva del sistema.

2.7.1 Metodología de Evaluación

Se implementó una metodología combinada (cualitativa-cuantitativa) empleando pruebas de usabilidad con participantes reales, respaldada por encuestas de opinión. Las evaluaciones con alumnos se ejecutaron de forma presencial dentro de una clase habitual, en tanto que los profesores colaboraron de manera independiente para ajustarse a su disponibilidad de tiempo. Para la recolección de datos se crearon formularios específicos para cada grupo, organizados mediante escalas Likert y consultas abiertas que permitieran capturar tanto información medible como observaciones específicas acerca de la interacción con el prototipo. La información obtenida, junto con los hallazgos específicos de las evaluaciones, se presenta en el **Apéndice E.3**.

2.7.2 Participantes

La selección de participantes se realizó mediante criterios de accesibilidad, incorporando individuos que representaran adecuadamente la audiencia meta de esta iniciativa.

Tabla 3. Participantes de la Evaluación del Prototipo

Perfil	Cantidad	Descripción
Docentes (FIMCP)	7	Profesores de Química, FIMCP; participan también como evaluadores de actividades
Estudiantes	18	Tercer semestre, carrera de Ingeniería en Alimentos

Nota. Selección por accesibilidad de usuarios representativos del público objetivo del proyecto.

2.7.3 Procedimiento de Aplicación

- **Evaluación con estudiantes:** La prueba con los estudiantes se realizó el 16 de julio de 2025 en el edificio 12H, sala C, durante los últimos 40 minutos de clase (de 9:00 a 11:00 a.m.). Primero, se les explico rápidamente el proyecto, para que luego los estudiantes naveguen por el prototipo y completen un formulario.
- **Evaluación con docentes:** Para los docentes fue diferente. La evaluación se desarrolló del 28 de julio al 1 de agosto de 2025 de forma asíncrona, distribuyendo la invitación por los canales oficiales de la universidad.

Los participantes navegaron por las secciones principales del prototipo, revisaron contenido teórico, interactuaron con elementos multimedia y probaron simulaciones de conformación molecular.

Figura 13. Interfaz del prototipo de alta fidelidad evaluado por un profesor de FIMCP



Nota. Captura de pantalla tomada durante la sesión de evaluación con docentes del área de Química.

Para visualizar el resto de evidencias de las pruebas de usuario del prototipo de alta fidelidad se las encuentra en el **Apéndice E.1** y **Apéndice E.2**.

2.7.4 Variables Evaluadas

La evaluación se estructuró en cuatro áreas principales:

- **Usabilidad:** Se evaluó la facilidad para navegar por el sistema, la claridad de los íconos utilizados y qué tan comprensible resultaba el flujo de interacción general.
- **Contenido académico:** Se verificó si el material presentado era pertinente, si las explicaciones resultaban claras y si el nivel de complejidad era adecuado para el público objetivo.

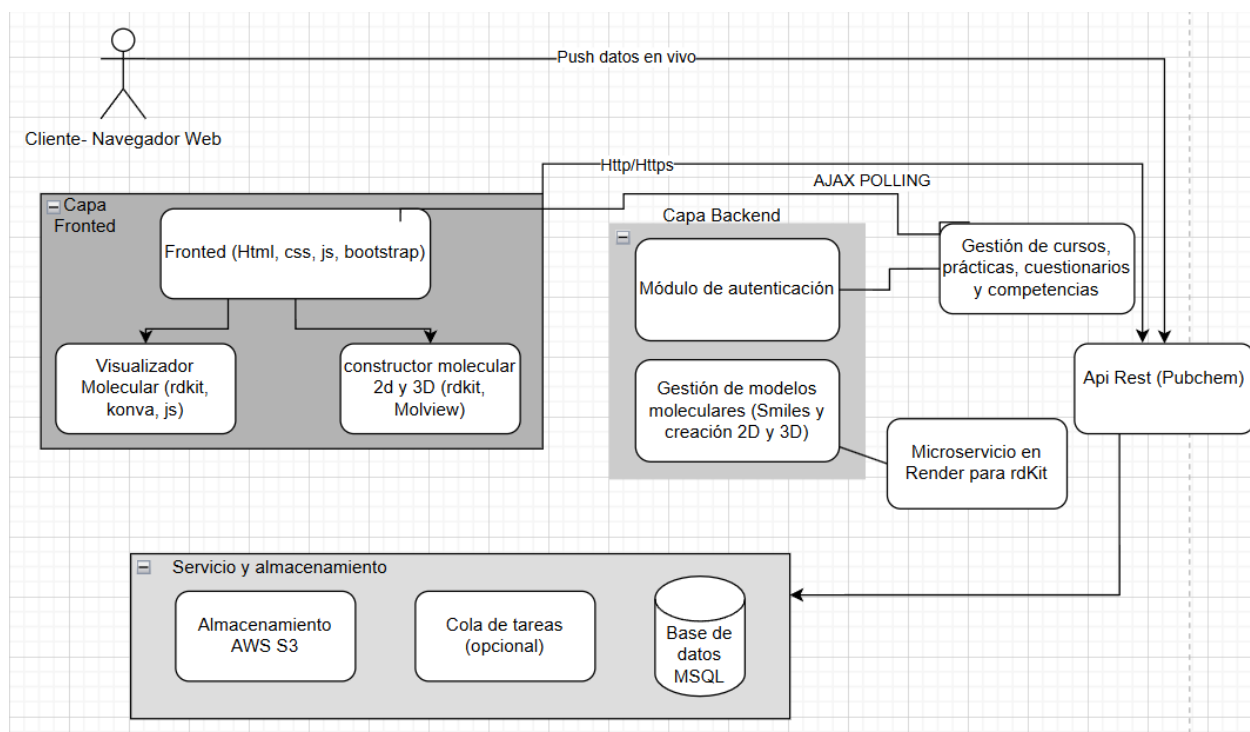
- **Diseño de interfaz:** Se analizó el atractivo visual del prototipo, la legibilidad de los textos incluidos y la efectividad de los elementos gráficos incorporados.
- **Percepción general:** Se midió la impresión global que causó la herramienta y la disposición de los usuarios para utilizarla en contextos académicos reales.

2.8 Diseño detallado del sistema

2.8.1 Arquitectura general del sistema

Para representar la distribución tecnológica de la solución, se elaboró un diagrama de arquitectura general. Esta muestra la relación entre el cliente web, el backend Django, el almacenamiento en AWS S3 y la consulta externa a PubChem (ver Figura 14).

Figura 14. Diagrama de Arquitectura General de la Plataforma

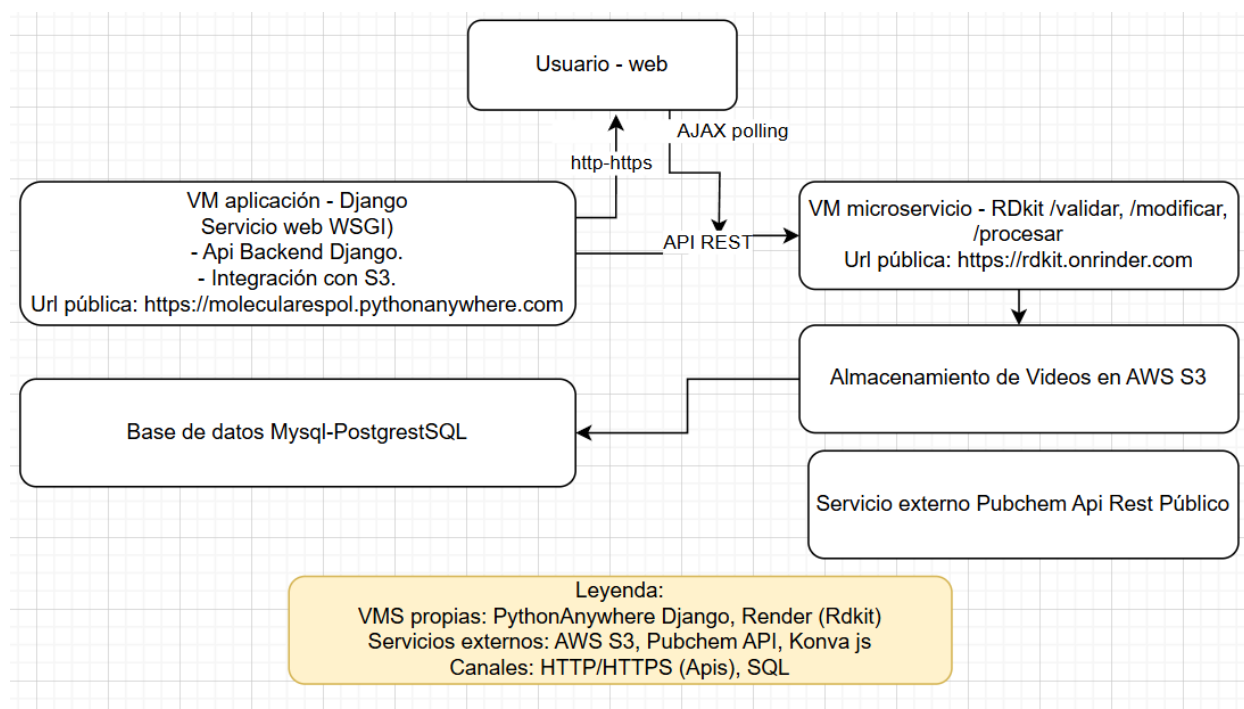


Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

2.8.2 Diagrama de despliegue

La solución está pensada para su implementación en la nube, usando servicios escalables de AWS (ver Figura 15).

Figura 15. Diagrama de Despliegue

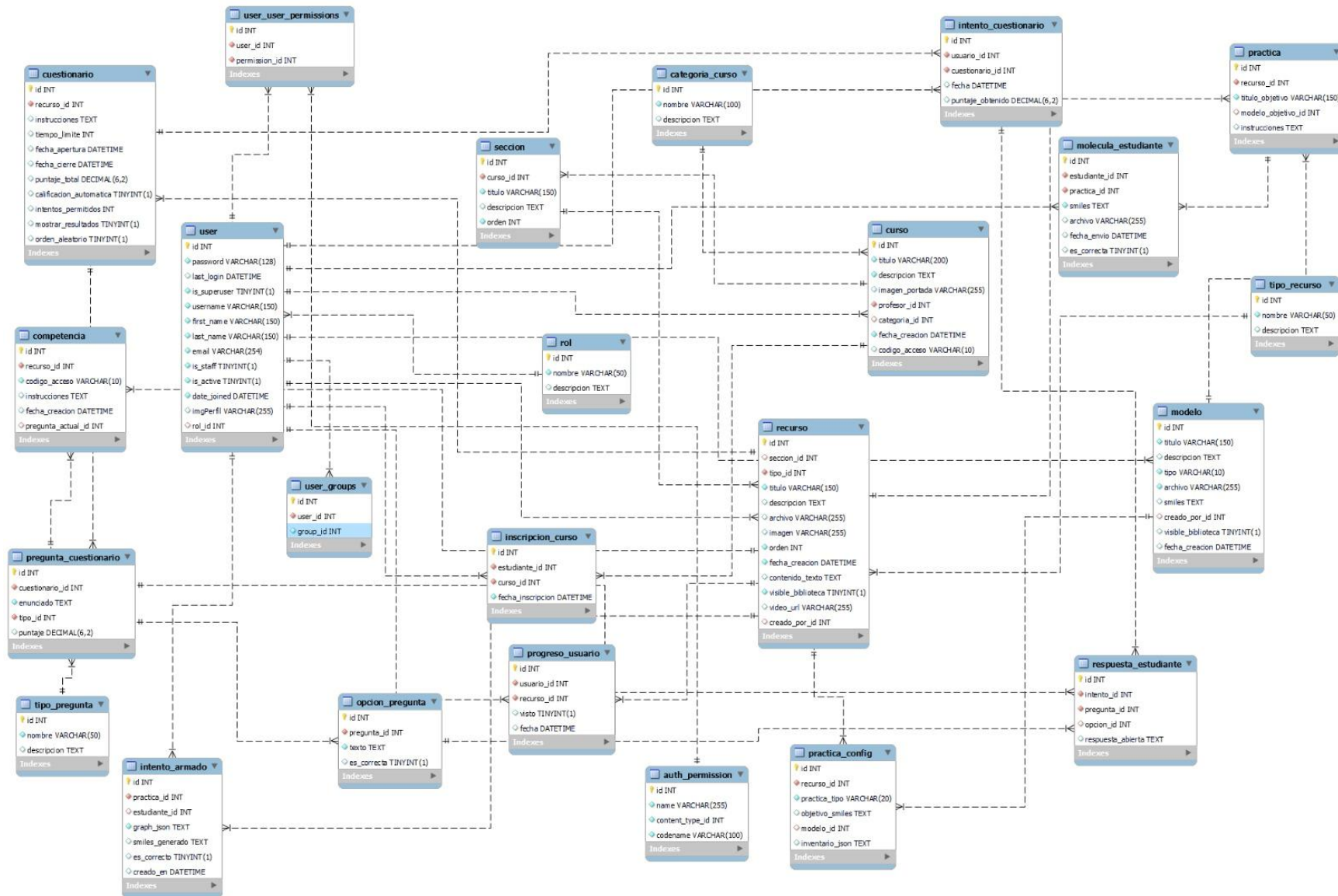


Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

2.8.3 Modelo lógico de base de datos

Se elaboró el modelo lógico de base de datos en MySQL Workbench, junto con sus principales entidades y relaciones (ver Figura 16).

Figura 16. Modelo Lógico de la Base de Datos



2.9 Validación y protocolo de evaluación

Se formuló un plan de validación para garantizar que la solución propuesta fuera realmente apropiada para el ámbito académico, obteniendo respuestas inmediatas de los posibles usuarios. La validación se propuso como trabajo para el Sprint 1 y se centró en observar cómo los usuarios utilizarían la plataforma implementada, tanto desde una perspectiva práctica como funcional.

El proceso se describió en función de dos perfiles básicos: estudiantes e instructores. Para los instructores, en particular aquellos vinculados al departamento de química, se diseñaron escenarios para evaluar funcionalidades como la gestión de contenido, las prácticas de desarrollo y la navegación del sistema en general, tanto desde el perfil de administrador como desde el de instructor. Para los estudiantes, se analizó cómo interactuarían con los simuladores, realizarían una actividad práctica y visualizarían modelos moleculares.

También se diseñó una encuesta para la retroalimentación con el fin de recopilar información cualitativa sobre cuestiones de diseño, claridad en las instrucciones de uso y usabilidad. Las sesiones se llevaron a cabo de forma controlada para permitir la observación del comportamiento práctico al operar con la plataforma.

Este enfoque permitió extraer hallazgos importantes que ayudaron a aclarar los detalles funcionales antes del desarrollo final. Los datos obtenidos y los resultados de las distintas pruebas se presentarán en el Capítulo 3.

2.10 Consideraciones éticas y legales

Durante el desarrollo se tuvo cuidado de cumplir todos los lineamientos éticos, especialmente en el manejo de la información de los usuarios. Para todas las pruebas, utilizamos únicamente datos anónimos; nunca se almacenaron datos sensibles ni personales. Todas nuestras herramientas eran software de código abierto.

2.11 Contribución de la carrera de Computación

El aporte de la carrera de Computación se reflejó en todas las etapas del proyecto: desde las necesidades de la plataforma, pasando por la planificación del diseño del sistema, hasta su integración. Se aplicaron conocimientos en desarrollo web, uso de bases de datos, diseño de interfaces, pruebas y despliegue, logrando construir una solución completa que responde a una necesidad real del entorno educativo.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas del sistema de la plataforma virtual MoleculAR, diseñada con el propósito específico de poder ayudar a los estudiantes universitarios de procesos químicos y bioquímicos a comprender los procesos. Durante las dos primeras semanas de agosto del año 2025, se registraron datos con la aplicación Hotjar (David ,Darmanin, 2014), con dos rutas metodológicas alternativas que permitieron determinar la efectividad técnica y pedagógica del sistema en un contexto de aprendizaje real.

3.1 Diseño metodológico y caracterización de participantes

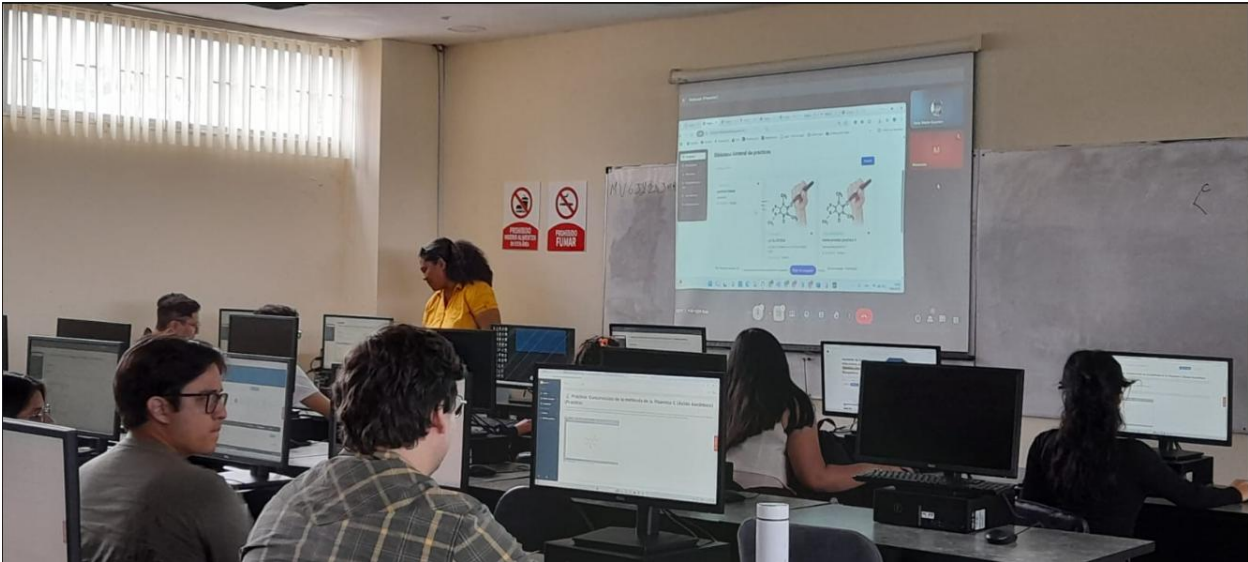
3.1.1 Estructura del estudio

Se adoptó un método mixto que incluyó análisis cuantitativo de métricas digitales y una evaluación cualitativa de la calidad de la experiencia educativa. Se emplearon dos modalidades de implementación con el objetivo de determinar la idoneidad de la plataforma para su uso en diversos entornos educativos, según las recomendaciones de Clark y Mayer sobre tecnología educativa. (Colvin Clark, 2016).

Primera modalidad - Evaluación asíncrona: Ejecutada del 7 al 10 de agosto de 2025, involucró seis estudiantes de Bioquímica Alimentaria de cuarto semestre. La profesora distribuyó el enlace de acceso mediante el Aula Virtual institucional, permitiendo exploración autodirigida durante el período establecido. Esta modalidad facilitó la evaluación de usabilidad en condiciones de aprendizaje autónomo.

Segunda modalidad - Evaluación presencial: Realizada el 13 de agosto de 2025 de 9:00 a 11:00 AM en el laboratorio del edificio 12H de la FIMCP, con quince estudiantes de Química de Alimentos de tercer semestre bajo supervisión de la profesora. La modalidad presencial permitió observación directa del proceso de interacción y resolución inmediata de consultas técnicas.

Figura 17. Sesión de evaluación presencial en laboratorio 12H-Sala C-FIMCP con estudiantes de Química de Alimentos



Nota. Fotografía tomada durante la evaluación presencial del 13 de agosto de 2025, con autorización de los participantes.

Las evidencias fotográficas de las pruebas presenciales realizadas con la plataforma ya desplegada se presentan en el **Apéndice F**.

3.1.2 Caracterización de la muestra

Tabla 4. Distribución de participantes por modalidad y características demográficas

Variable	Grupo Asíncrono	Grupo Presencial	Total
Participantes (n)	6	15	21
Semestre académico	4º	3º	-
Asignatura	Bioquímica Alimentaria	Química de Alimentos	-
Experiencia previa simuladores	0%	0%	0%
Acceso a dispositivos adecuados	100%	100%	100%

Nota. Datos recopilados durante las sesiones de evaluación en agosto de 2025.

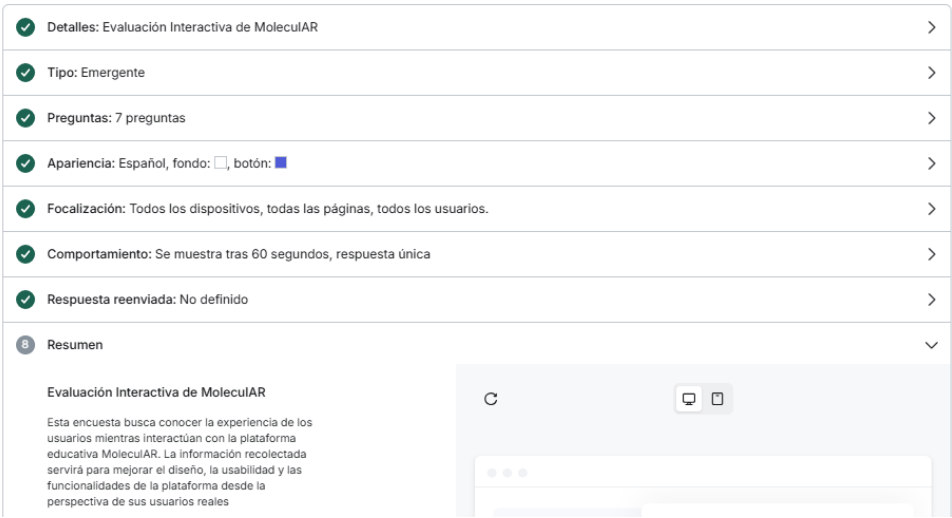
Para que los resultados fueran generalizables, se impusieron restricciones a los participantes: los estudiantes matriculados en clases de química tenían poco conocimiento de la estructura molecular y carecían de simuladores digitales sofisticados. Estas restricciones garantizaron que los participantes tuvieran la misma base de conocimientos y, por lo tanto, se pudiera obtener una medición objetiva del efecto de la plataforma.

3.1.3 Instrumentos y procesamiento de datos

Hotjar Analytics Professional: Sistema de análisis de comportamiento que capturó automáticamente mapas de calor, rutas de navegación, grabaciones de sesiones, tiempos de interacción y mediciones de interacción con la configuración predeterminada. Seguimiento avanzado de la navegación en los módulos de aprendizaje, así como de las actividades de desarrollo molecular, con resultados resumidos en los **Apéndices H.1 y H.2**.

Encuesta emergente integrada: Encuesta de siete preguntas administrada de forma nativa en la plataforma mediante las funciones nativas de Hotjar, que recopila retroalimentación en tiempo real sin interrumpir la experiencia del usuario. La encuesta completa se muestra en el **Apéndice G.1** y el informe generado por IA, en el **Apéndice G.2**.

Figura 18. Configuración de Hotjar y Encuesta Emergente en la Plataforma



Nota. Captura de pantalla del dashboard de Hotjar Analytics 2025 mostrando la configuración de seguimiento implementada.

Procesamiento estadístico complementario: Los datos exportados desde Hotjar fueron procesados mediante análisis descriptivo, calculando medidas de tendencia central y dispersión utilizando la fórmula de desviación estándar $\sigma = \sqrt{[(\sum(x_i - \mu)^2)/n]}$ donde n=21 usuarios únicos, siguiendo estándares metodológicos en investigación de usabilidad (Tullis & Albert, 2013) [17].

3.2 Análisis de métricas generales de interacción

3.2.1 Indicadores globales de uso

El análisis cuantitativo reveló patrones significativos de engagement y utilización efectiva del sistema implementado.

Tabla 5. Métricas Principales de Interacción

Métrica	Valor observado	Desviación estándar	Interpretación
Sesiones totales	50	-	Reinteracción múltiple

Usuarios únicos	21	-	Cobertura total de muestra
Duración promedio sesión	16:23 min	4.2 min	Engagement elevado
Páginas por sesión	10.4	2.8	Exploración sistemática
Tasa de rebote	24%	-	Retención efectiva
Profundidad desplazamiento	89.1%	12.3%	Revisión completa contenido

Nota: Las desviaciones estándar fueron calculadas para métricas continuas usando la fórmula $\sigma = \sqrt{[\sum(xi - \mu)^2]/n}$ donde $n=21$ usuarios. Métricas categóricas (rebote) y conteos totales no aplican desviación estándar.

La duración promedio de sesión (16:23 minutos) supera considerablemente los estándares reportados para plataformas educativas digitales, que oscilan entre 8-12 minutos según estudios de usabilidad en e-learning (Nielsen Norman Group, 2019). Este hallazgo sugiere alto nivel de absorción cognitiva y engagement sostenido con el contenido molecular presentado.

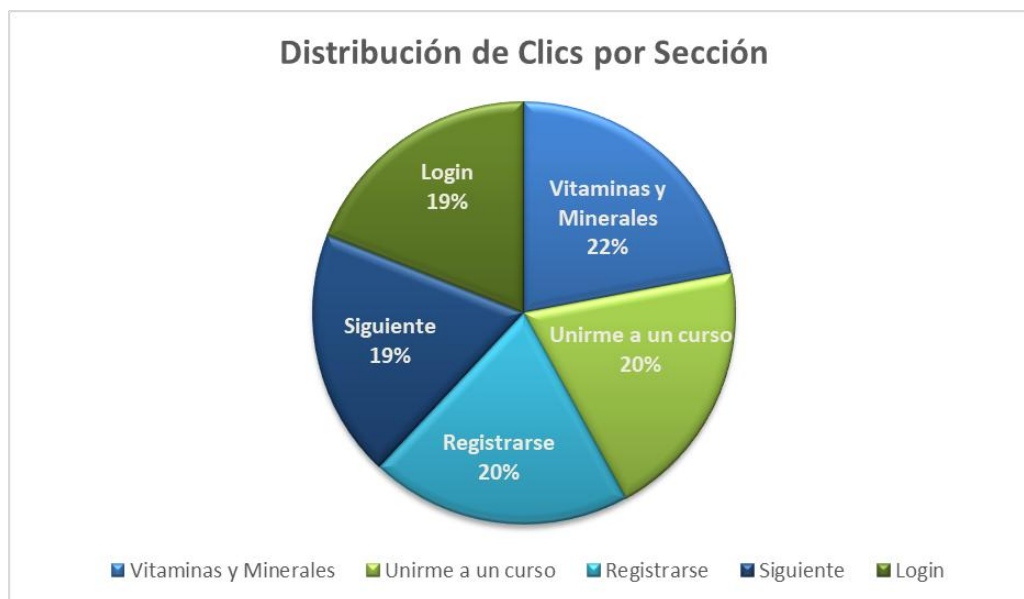
3.2.2 Distribución de actividad por secciones

Tabla 6. Análisis de tráfico por módulo de la plataforma

Módulo	Sesiones	Tiempo promedio (min)	Porcentaje del total
Vitaminas y Minerales (práctica)	22	8:45	44%
Página principal	45	1:34	90%
Registro usuario	22	2:12	44%
Resolución práctica	22	6:33	44%
Sistema login	19	1:28	38%

Fuente: Datos agregados de Hotjar Analytics. Porcentajes calculados sobre total de 50 sesiones.

Figura 19. Distribución de Clics por Sección de la Plataforma



Nota: Elaborado con datos de Hotjar Analytics – Botones y enlaces con mayor actividad

El módulo "Vitaminas y Minerales" registró el mayor tiempo de uso (8:45 minutos promedio), confirmando que los usuarios reconocieron este contenido como el núcleo educativo de la plataforma y dedicaron tiempo considerable a la manipulación molecular interactiva.

3.3 Mapas de calor y patrones de interacción

3.3.1 Análisis de zonas de atención visual

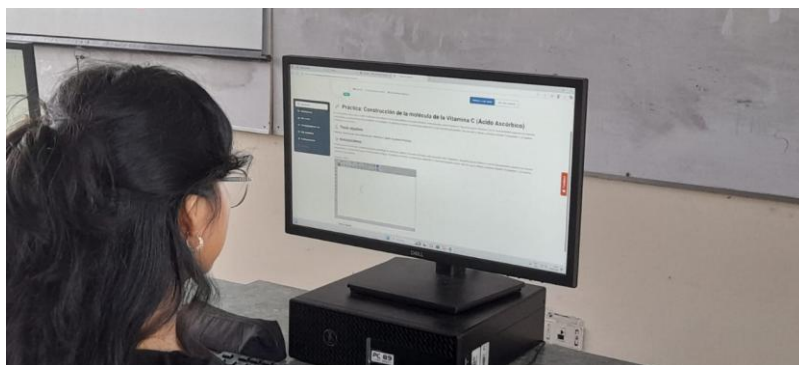
Los mapas de calor proporcionaron información detallada sobre patrones de atención visual durante las actividades de estructuración molecular.

Figura 20. Mapa de calor real - Página práctica vitamina C



Fuente: Elaboración propia. Captura de pantalla tomada en Hotjar, 2025

Figura 21. Estudiante interactuando con simulador molecular durante sesión presencial



Fuente: Registro fotográfico propio, 2025

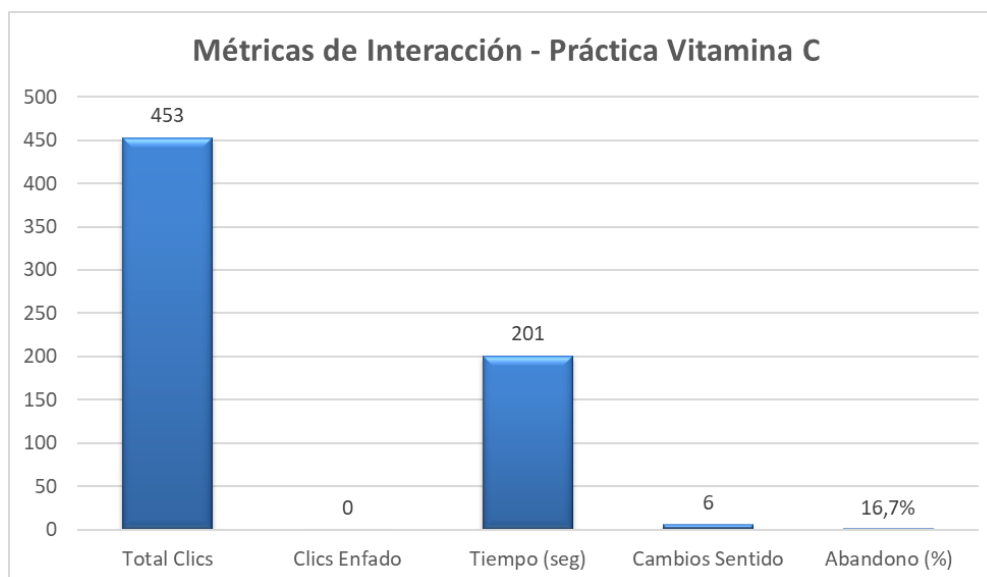
Mapas de calor adicionales de las pantallas vistas en la prueba de usuario se encuentran en el **Apéndice H.2**

Distribución de interacciones por zona:

- **Zona de alta actividad (67% clics):** Herramientas de construcción molecular 2D
- **Zona actividad moderada (21% clics):** Menús navegación y paneles informativos

- **Zona baja actividad (12% clics):** Elementos textuales y decorativos

Figura 22. Métricas de Interacción – Página Práctica Vitamina C



Fuente: Estadísticas del mapa de calor de Hotjar

3.3.2 Métricas de engagement extraídas de grabaciones

Tabla 7. Indicadores comportamentales derivados de session recordings

Indicador	Valor promedio	Rango	Metodología cálculo
Engagement level	3.0/3.0	2.8-3.0	Algoritmo Hotjar
Índice frustración	0.8/3.0	0.2-1.6	Clicks erróneos/tiempo
Acciones por minuto	12.4	8.7-16.2	Eventos/duración sesión
Tiempo zona objetivo	78%	65-89%	Tiempo práctica/tiempo total

Nota: El detalle completo de las 50 grabaciones de sesión se presenta en el Apéndice H.1

3.4 Evaluación de satisfacción y percepción

3.4.1 Net Promoter Score y distribución

Tabla 8. Distribución de respuestas NPS

Categoría	Usuarios	Porcentaje	Puntuación
Promotores (9-10)	11	52%	9-10
Pasivos (7-8)	3	14%	7-8
Detractores (0-6)	7	33%	0-6
<i>NPS final</i>	<i>21 usuarios</i>	<i>100%</i>	<i>19.1</i>

Figura 23. Distribución NPS con gráfico horizontal



Fuente: Encuesta Hotjar – Pregunta 1 (21 respuestas)

3.4.2 Análisis de retroalimentación específica

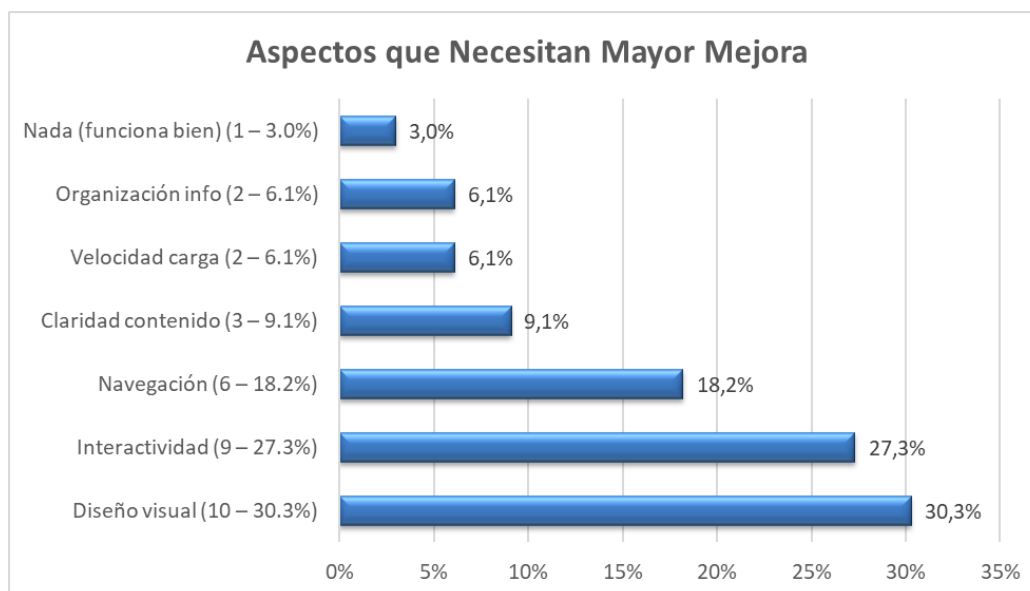
Tabla 9. Resultados encuesta de satisfacción

Pregunta	Respuesta mayoritaria	Porcentaje	Respuestas Secundarias	Interpretación
P.1: ¿Qué probabilidades hay de que recomiendes MolecularAR a un	Promotores (puntuación 9-10)	52%	Detractores: 33%, Pasivos: 14%	NPS positivo (19.1) con potencial de mejora

compañero o docente?				
P.3: ¿La actividad cumplió con tus expectativas en cuanto a claridad, interactividad y utilidad del contenido?	Empate: "Cumplió totalmente" vs "Parcialmente, mejorar"	50% / 50%	Ninguna respuesta negativa total	Expectativas satisfechas, pero con margen de optimización
P.4: ¿Qué aspecto de esta página crees que necesita mayor mejora?	Diseño visual (colores, tamaños, disposición)	30%	Interactividad: 27%, Navegación: 18%	Identificación clara de áreas prioritarias para optimización
P.5: ¿Consideras que esta herramienta aporta valor al proceso de enseñanza-aprendizaje vs métodos tradicionales?	"Sí, veo que tiene mucho potencial educativo"	67%	"Posiblemente con ajustes": 17%	Reconocimiento mayoritario de superioridad educativa versus métodos convencionales
P.6: ¿Tuviste algún problema técnico o de navegación mientras usabas la plataforma?	"No tuve ningún problema"	44%	"Algunos botones no funcionaron": 33%	Estabilidad técnica aceptable con áreas específicas de mejora
P.7: ¿Cómo te sentiste al usar esta parte de la plataforma?	Satisfacción alta (puntuación 4-5)	89%	Puntuación promedio: 4.1/5.0	Experiencia de usuario consistentemente positiva

Fuente: Encuesta Hotjar integrada (n=21 respuestas, tasa de respuesta 100%). Datos agregados para protección de privacidad.

Figura 24. Aspectos que necesitan mayor mejora según los usuarios



Fuente: Encuesta Hotjar – Pregunta 4 (33 respuestas)

3.4.3 Identificación de elementos más valorados

El análisis de la segunda pregunta abierta "¿Qué aspectos de MolecularAR te parecieron más útiles o interesantes?" fue procesado automáticamente por Hotjar mediante análisis de sentimiento y extracción de citas representativas.

Figura 25. Citas textuales extraídas por Hotjar - Aspectos más valorados

Citas

"Las prácticas de creación de crear las moléculas y ver en 3D."

"MUY FACIL DE ENTENDER, RECOMIENDO APLICAR UNA OPCION DONDE PUEDA ESCRIBIR EL NOMBRE DE LA MOLECULA Y APARESCA, AYUDARÍA MUCHÍSIMO."

"Los ejercicios, los cuales los vi como un tipo de juego. Muy entretenido."

"El diseño y versatilidad de la página."

"VERLO EN 3D Y SABER INFORMACIÓN DE LA MOLÉCULA QUE SE DIBUJA."

Fuente: Encuesta Hotjar – Citas

Para visualizar la estructura completa y los resultados de la encuesta emergente en Hotjar se lo encuentra en el **Apéndice G**.

3.5 Síntesis de hallazgos principales

3.5.1 Evidencia de efectividad pedagógica

Los resultados convergen hacia validación de la efectividad de MolecularAR para mejorar comprensión de procesos químicos complejos. El engagement sostenido (16:23 min vs 8-12 min estándar), la alta tasa de finalización de encuesta (86%) y el reconocimiento de valor educativo (67%) proporcionan evidencia múltiple de impacto pedagógico favorable.

3.5.2 Patrones de uso identificados

Concentración en contenido educativo: El 44% del tiempo se dedicó al módulo "Vitaminas y Minerales", evidenciando reconocimiento de contenido educativo prioritario por parte de los usuarios.

Preferencia por herramientas interactivas: Los mapas de calor muestran concentración significativa de actividad en herramientas de visualización y manipulación molecular, confirmando efectividad del enfoque visual para conceptos moleculares complejos.

Integración exitosa de herramientas de seguimiento: La implementación automática con Hotjar permitió captura de métricas detalladas sin fricción adicional, evidenciado por la tasa de finalización del 86% en evaluaciones integradas.

3.5.3 Oportunidades de optimización identificadas

El análisis reveló áreas prioritarias específicas: rediseño visual (30% de usuarios lo solicita), mejora de interactividad (27%) y optimización de navegación (18%). Estas observaciones proporcionan dirección clara para iteraciones futuras del sistema.

3.5.4 Contribución al conocimiento disciplinar

Este estudio aporta evidencia empírica inicial sobre efectividad de simuladores moleculares 2D/3D web en educación química universitaria. Las métricas establecidas y metodología implementada constituyen línea base para investigaciones futuras en tecnología educativa química especializada, demostrando el potencial transformador de herramientas de visualización molecular interactiva en contextos de educación superior.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

Luego de aplicar las fases metodológicas que se establecieron en la propuesta y así poder analizar los resultados obtenidos con ayuda de herramientas especializadas, se pudo obtener las siguientes conclusiones primordiales con respecto a los objetivos planteados.

4.1 Conclusiones

- La plataforma desarrollada logró abordar exitosamente contenidos de alta complejidad curricular. El análisis de uso reveló que el 44% del tiempo total se dedicó al módulo de 'Vitaminas y Minerales', lo cual indica que los usuarios identificaron correctamente esta unidad como el contenido educativo central. El tiempo promedio de interacción de 16 minutos y 23 segundos supera significativamente los estándares habituales para plataformas educativas web, lo que demuestra que la plataforma mantuvo el interés y la concentración de los estudiantes en temas que tradicionalmente resultan difíciles de enseñar.
- Las funcionalidades de la plataforma fueron implementadas con resultados satisfactorios. Los mapas de calor mostraron una concentración significativa de actividad en las herramientas de visualización tridimensional, y el 100% de los usuarios identificó 'las prácticas de construcción de moléculas y visualización en 3D' como la funcionalidad más útil, según los comentarios cualitativos recopilados. Además, la tasa de finalización del 86% en las evaluaciones integradas confirma que la plataforma presenta un diseño intuitivo y fácil de usar.
- Las herramientas cumplieron efectivamente en coincidencia a la doble demanda procesal del ciclo educativo. Al alumno, proporcionaron retroalimentación instantánea soportada en satisfacción general de 4.1/5.0. Al docente, automatización de la incorporación con Hotjar dio métricas expandidas sin obstaculización manual,

facilitando seguimiento personalizado a través de mapas de calor, análisis de engagement.

La plataforma alcanzó con éxito su objetivo integral. El 67% de los usuarios percibió un valor educativo superior en comparación con los métodos tradicionales, mientras que el sistema automatizó tanto la creación de recursos dinámicos como el seguimiento detallado del aprendizaje.

4.2 Limitaciones reconocidas

Se reconocen limitaciones importantes que contextualizan la interpretación de resultados:

- **Alcance muestral limitado:** Con solo 21 participantes, se puede obtener una evidencia inicial sólida, pero se requiere pueda ser validado con una población mayor para asegurar una generalización estadística más robusta.
- **Período de evaluación restringido:** Durante solo una sesión se pudo evaluar la usabilidad dada de parte de los docentes y estudiantes, pero debido a ese corto tiempo, se limita la posibilidad de extraer una conclusión sólida sobre un aprendizaje a largo plazo.
- **Ausencia de grupo control:** La comparación con métodos tradicionales se basó en percepciones autorreportadas; por lo tanto, se requieren estudios controlados para validar objetivamente la superioridad educativa observada.
- **Contexto institucional único:** Al haberse implementado en una sola institución, los resultados podrían no ser generalizables a otras universidades con características tecnológicas, socioeconómicas o curriculares distintas.

4.3 Recomendaciones

Tras la propuesta de investigación, se formulan las siguientes recomendaciones principales para ampliar la cobertura y la influencia del trabajo realizado.

- **Optimización del diseño visual:** Se recomienda rediseñar los criterios de percepción científica profesional como respuesta a la exigencia del 30% de los usuarios de que el diseño visual ha sido una prioridad. Se sugiere el uso de tonos de color uniformes, un orden visual más claro y diseños que refuercen la legitimidad académica del sistema.
- **Escalabilidad institucional:** Se ha propuesto la expansión de la implementación a otras disciplinas relacionadas, como Bioquímica General y Análisis Instrumental, utilizando una arquitectura modular ya desarrollada. También es recomendable establecer una red de colaboración interinstitucional para demostrar la eficacia del sistema en entornos diversos y divulgar el coste de desarrollo.
- **Investigación longitudinal:** Estos también deben cuantificar el impacto persistente durante un período de 6 a 18 meses y considerar indicadores de retención conceptual, transferencia del aprendizaje a cursos más avanzados y análisis del impacto en los resultados de aprendizaje posteriores. Los grupos de control también deben considerarse como un estudio comparativo con los métodos tradicionales.
- **Mejoras técnicas prioritarias:** Solucionar los problemas que enfrenta el 33% de los usuarios mejorando la funcionalidad, incorporando un mecanismo adecuado de gestión de errores y desarrollando capacidades offline para visualizar material sencillo.
- **Gamificación avanzada:** Incluir elementos de gamificación de alto nivel mediante la inclinación positiva hacia las actividades recreativas. Contemplar la incorporación de sistemas de puntuación incremental, trofeos o insignias desbloqueables y modalidades de competición cooperativa con patrones de motivación intrínsecos adecuados para los estudiantes.
- **Análisis de aprendizaje personalizado:** Aplicar técnicas de analítica de aprendizaje y aprendizaje automático para adaptar los recursos y actividades de aprendizaje mientras los estudiantes interactúan con los sistemas educativos.

- **Modelo de sostenibilidad:** Establecer un marco de sostenibilidad financiera que contemple modelos de licenciamiento tanto para instituciones educativas como para empresas, con el fin de garantizar la continuidad de los beneficios educativos para las futuras generaciones estudiantiles.

Importancia del trabajo desarrollado

El actual proyecto ofrece una orientación metodológica relevante para una exitosa integración de tecnologías inmersivas en la enseñanza avanzada de la química educativa. Estas métricas recopiladas y la evidencia empírica constituyen un valioso punto de referencia comparativo con el que se pueden evaluar investigaciones posteriores sobre tecnología educativa especializada y demuestran la viabilidad técnica y pedagógica de los simuladores de moléculas en línea.

Implicaciones para el campo disciplinar

Este estudio contribuye a la base de conocimientos sobre la aplicación de recursos de visualización tridimensional en el aprendizaje de ciencias. En particular, ofrece evidencia cuantificable de su impacto en el interés de los estudiantes y en la mejora de su conocimiento conceptual en la química molecular. Sus procedimientos podrían replicarse en otras asignaturas con visualización espacial compleja, ampliando aún más los límites del estudio más allá de la química.

Trabajos futuros recomendados

Se sugieren estudios futuros que cubran la incorporación de realidad aumentada, la creación de bibliotecas moleculares más amplias, la inclusión de inteligencia artificial para tutorías individualizadas y estudios comparativos de la eficacia de diversas modalidades de simulación molecular en diversos entornos educativos.

REFERENCIAS

- Abrahams2008Doespractical.pdf*. (s. f.). Recuperado 14 de septiembre de 2025, de <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10000264/2/Abrahams2008Doespractical.pdf>
- Adrian Holovaty, S. W. (s. f.). *Django*. Django Project. Recuperado 14 de septiembre de 2025, de <https://www.djangoproject.com/>
- Audrey, Azoulay. (1945). *UNESCO Science Report*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377433>
- Avogadro. (s. f.). *Avogadro*. Recuperado 14 de septiembre de 2025, de <https://avogadro.softonic.com/>
- Banda, H. J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108>
- Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2023). The Impact of Physics Education Technology (PhET) Interactive Simulation-Based Learning on Motivation and Academic Achievement Among Malawian Physics Students. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 127-141. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10010-3>
- Bruner. (s. f.). *Bruner—The Act of Discovery*. Recuperado 14 de septiembre de 2025, de <https://es.scribd.com/document/385605569/Bruner-The-act-of-discovery>
- Carl, W. (2002). *Simulaciones Interactivas PhET*. PhET. <https://phet.colorado.edu/es/Chapter13.pdf>
- Chapter13.pdf*. (s. f.). Recuperado 14 de septiembre de 2025, de https://us.sagepub.com/sites/default/files/upm-binaries/14256_Chapter13.pdf
- chemtube, 3D. (s. f.). *3D Chemistry Animations*. ChemTube3D. Recuperado 14 de septiembre de 2025, de <https://www.chemtube3d.com/>
- Colvin Clark, R. E. M. (2016). *e-Learning and the Science of Instruction*. (4th ed.).

- Cortés-Pérez, I., Zagalaz-Anula, N., López-Ruiz, M. del C., Díaz-Fernández, Á., Obrero-Gaitán, E., & Osuna-Pérez, M. C. (2023). Study Based on Gamification of Tests through Kahoot!™ and Reward Game Cards as an Innovative Tool in Physiotherapy Students: A Preliminary Study. *Healthcare*, 11(4), 578. <https://doi.org/10.3390/healthcare11040578>
- David ,Darmanin. (2014). *Try Hotjar*. <https://www.hotjar.com/invite/>
- Domínguez, A., Saenz-de-Navarrete, J., de-Marcos, L., Fernández-Sanz, L., Pagés, C., & Martínez-Herráiz, J.-J. (2013). Gamifying learning experiences: Practical implications and outcomes. *Computers & Education*, 63, 380-392. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.020>
- Gamage, S. H. P. W., Ayres, J. R., & Behrend, M. B. (2022). A systematic review on trends in using Moodle for teaching and learning. *International Journal of Stem Education*, 9(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00323-x>
- Google Web Toolkit (GWT). (s. f.). *JSME- molecule structure*. Recuperado 14 de septiembre de 2025, de <https://jsme-editor.github.io/>
- Greg, L. (2019). *RDKit*. <https://www.rdkit.org/>
- java. (s. f.). *Jmol: An open-source Java viewer*. Recuperado 14 de septiembre de 2025, de <https://jmol.sourceforge.net/>
- Johanna del Rocio Barzola Sarmiento. (s. f.). *Diseño de un modelo de predicción del rendimiento académico de los estudiantes de primer nivel de las carreras de ingeniería de la espol* [Espol]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/132124/D-CD109348.pdf>
- John, P. (1990). *Gaussian*. <https://gaussian.com/>
- Martin, D. (2002). *Moodle.org*. <https://moodle.org/?lang=es>
- Matt Stahl, Pat Walters y Daniel P. (2001). *Open Babel: La caja de herramientas de química*. [https://openbabel-
org.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc](https://openbabel-
org.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc)

moldraw. (s. f.). *Ketcher v2.25.0*. Recuperado 14 de septiembre de 2025, de <https://moldraw.com/molview>.

(2012). *MolView*. <https://molview.org/>

Morten Versvik, Brand y Brooker. (2013). *Kahoot! | Learning games*. Kahoot! <https://kahoot.com/>

Piaget. (2025, junio 4). *Piaget's Theory and Stages of Cognitive Development*. <https://www.simplypsychology.org/piaget.html>

Quim, S. (2022). *Edpuzzle*. Edpuzzle. <https://edpuzzle.com/>

researchgate. (s. f.). *Formación integral y competencias*. Recuperado 14 de septiembre de 2025, de https://www.researchgate.net/publication/319310793_Formacion_integral_y_competencias_Pensamiento_complejo_curriculo_didactica_y_evaluacion

Ricardo ,Cabello. (2010). *Three.js docs*. <https://threejs.org/docs/>

Senescyt. (2025). *Senescyt*. <https://www.educacionsuperior.gob.ec/>

Souza, M. P. M. de, & Siqueira, A. B. (2025). *Exploring Heat Exchanges with the Calorimetry Simulator—SimuFísica* (arXiv:2506.03289). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.03289>

Telenius, M. (2014). Virtual Laboratory Environments in Chemistry Education. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 2(2), 125-130. <https://doi.org/10.31129/lumat.v2i2.1061>

Todsén, W. L. (2014). ChemDoodle 6.0. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 54(8), 2391-2393. <https://doi.org/10.1021/ci500438j>

Universidad Nacional Autónoma de México. (s. f.). *Primera evaluación de la herramienta Laboratorio Virtual de Química*. <https://educatic.unam.mx/lad-unam/evaluacion-laboratorio-virtual-quimica.pdf>

Vázquez-Ingelmo, A., García-Peñalvo, F. J., & Therón, R. (2021). Towards a Technological Ecosystem to Provide Information Dashboards as a Service: A Dynamic Proposal for

Supplying Dashboards Adapted to Specific Scenarios. *Applied Sciences*, 11(7), 3249.
<https://doi.org/10.3390/app11073249>

Jordi, S. (s. f.). Jordi Adell Segura. Recuperado 14 de septiembre de 2025, de
<https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=ummz4n8AAAAJ>

Nielsen, J. (2011, September 11). How long do users stay on web pages? Nielsen Norman Group.
<https://www.nngroup.com/articles/how-long-do-users-stay-on-web-pages/>

APÉNDICE

Apéndice A. Historias de usuario completas

Figura 26. Historias de usuario (1 de 5) – Apéndice A

Identificador (ID) de la Historia	Enunciado de la Historia			Criterios de Aceptación				
	Rol	Característica / Funcionalidad	Razón / Resultado	Número (#) de Escenario	Criterio de Aceptación (Título)	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
ADM001	Como un Administrador	Necesito gestionar los registros de usuarios y roles en la plataforma	Con la finalidad de garantizar el control de acceso y permisos	1	Gestión de usuarios	En caso que se requiera registrar o editar usuarios	cuando el administrador accede al panel de usuarios	el sistema mostrará la lista de usuarios y permitirá agregar, editar o eliminar registros
ADM002	Como un Administrador	Puedo visualizar métricas de uso de la plataforma	Con la finalidad de supervisar el rendimiento del sistema y la participación de los usuarios	1	Visualización de estadísticas	En caso que se quiera acceder a la sección de reportes	cuando hace clic en "ver estadísticas"	el sistema mostrará gráficos con métricas como usuarios activos y resultados promedio
ADM003	Como un Administrador	Puedo crear, modificar y supervisar un curso	Con la finalidad de mantener organizado y actualizado un curso	1	Gestión de estructura de un curso	En caso que se quiera acceder al apartado de configuración de las secciones de un curso	cuando edita, añade o elimina secciones o contenido de un curso	el sistema actualizará automáticamente la estructura de navegación de contenidos de un curso
ADM004	Como un Administrador	Necesito crear, cargar y organizar modelos 3D y 2D	Con la finalidad de que los profesores puedan usarlos en prácticas y evaluaciones interactivas	1	Subida de nuevo contenido	En caso que se cree un nuevo simulador o estructura	cuando se sube el archivo al panel de modelos	el sistema guarda el archivo y lo categoriza en la biblioteca
				2	Edición de contenido existente	En caso que se necesite corregir o actualizar un modelo	cuando se edita un contenido existente	el sistema actualiza la versión disponible sin eliminar usos anteriores
PROF001	Como un Profesor	Puedo crear un nuevo curso en la plataforma con base a una estructura predeterminada	Con la finalidad de planificar y organizar los contenidos, prácticas y evaluaciones	1	Creación de curso con plantilla estructural	En caso que se quiera crear un nuevo curso en la plataforma	cuando se hace clic en "Crear curso"	el sistema genera automáticamente un curso con secciones y contenido definidos por una plantilla base

Fuente: Captura propia de tabla de historias de usuario, elaborada en Excel, 2025.

Figura 27. Historias de usuario (2 de 5) – Apéndice A

PROF002	Como un Profesor	Puedo agregar recursos, editar secciones y gestionar la estructura general del curso	Con la finalidad de organizar el contenido de forma flexible según mis objetivos de enseñanza	1	Subida de contenidos prácticos	En caso que se quiera agregar nuevos archivos a su curso	cuando hace clic en "agregar recurso" en un módulo	el sistema adjunta y publica el recurso (PDF, video, imagen, etc.)
				2	Edición de nombre y orden de secciones de un curso	En caso que se quiera reorganizar los temas del curso	cuando se selecciona "editar sección"	el sistema guarda los cambios y actualiza la navegación del curso
				3	Adición o eliminación de secciones de un curso	En caso de que se necesite reestructurar el curso	cuando se elige "agregar" o "eliminar sección"	el sistema refleja la nueva estructura inmediatamente en el curso
PROF003	Como un Profesor	Puedo visualizar el progreso de cada estudiante en mis cursos	Con la finalidad de hacer un seguimiento pedagógico	1	Reporte tabular de progreso	En caso que se desea consultar el estado general del curso	cuando se accede al módulo de seguimiento	el sistema muestra una tabla con participación y resultados por actividad
				2	Visualización gráfica	En caso que se desea ver el avance de cada estudiante de forma visual	cuando se selecciona "ver gráficos de rendimiento"	el sistema muestra barras o líneas de progreso por estudiante
PROF004	Como un Profesor	Puedo crear cuestionarios configurando su título, fecha, duración, visibilidad y agregar distintos tipos de preguntas interactivas	Con la finalidad de evaluar a los estudiantes de manera estructurada y alineada con los objetivos del curso	1	Cuestionario nuevo asociado a una sección en específico	En caso de crear una evaluación para un tema puntual del curso	cuando accede a la sección de "nuevo cuestionario"	el sistema permite ingresar título, módulo, fecha, duración, instrucciones y guardar el cuestionario
				2	Cuestionario programado con fecha de apertura	En caso de cuestionarios que deben estar disponibles desde cierta fecha	cuando se configura la visibilidad con fecha y hora	el sistema habilita el acceso automáticamente en el periodo indicado
				3	Cuestionario oculto mientras está en edición	En caso de los cuestionarios que aún no están listas para ser publicadas	cuando el profesor guarda sin activar visibilidad	el sistema lo mantiene como borrador y lo muestra solo al profesor
PROF005	Como un Profesor	Necesito crear competencias académicas interactivas con código de acceso	Con la finalidad de reforzar el aprendizaje de manera lúdica y monitorear el desempeño en	1	Competencia individual	En caso de que se cree una competencia para evaluación individual	cuando se crea una nueva competencia individual	el sistema genera automáticamente una competencia para que el estudiante acceda
				2	Competencia grupal con asignación automática de grupos	En caso que hayan competencias donde los estudiantes se dividen aleatoriamente en equipos	cuando se selecciona la opción de "modo grupal aleatorio"	el sistema asigna automáticamente a cada estudiante un grupo y asocia su puntaje al rendimiento grupal

Fuente: Captura propia de tabla de historias de usuario, elaborada en Excel, 2025.

Figura 28. Historias de usuario (3 de 5) – Apéndice A

			tiempo real	3	Competencia grupal con selección libre de grupos	En caso que hayan competencias donde los estudiantes pueden elegir sus equipos	cuando se activa la opción "selección libre de grupo"	el sistema permite que los estudiantes seleccionen su grupo antes de iniciar la competencia
PROF006	Como un Profesor	Necesito crear prácticas virtuales interactivas asignadas a un curso específico	Con la finalidad de reforzar lo aprendido en clase mediante ejercicios prácticos y recursos interactivos	1	Práctica con estructuras interactivas (2D o 3D)	En caso que la práctica requiera que el estudiante interactúe con un modelo o lo cree desde 0 siguiendo una instrucción	cuando se selecciona una estructura desde la biblioteca o se elige un lienzo en blanco	el sistema permite vincularla a la práctica y habilita herramientas de rotación, selección y arrastre
PROF007	Como un Profesor	Necesito revisar las entregas de cuestionarios, competencias y prácticas realizadas por los estudiantes	Con la finalidad de otorgar retroalimentación o calificaciones basadas en el desempeño demostrado del estudiante	1	Revisión de cuestionarios resueltos	En caso de actividades evaluadas mediante preguntas interactivas	cuando el profesor accede al cuestionario enviado	el sistema muestra todas las respuestas por pregunta, el puntaje obtenido y permite retroalimentación
				2	Revisión de prácticas entregadas	En caso que hayan prácticas configuradas por el profesor	cuando se selecciona una entrega con modelo 2D o 3D asociado	el sistema reproduce las interacciones (rotación, selecciones, arrastres, conexiones) y permite evaluación manual o automática
				3	Revisión de competencias	En caso de competencias individuales o grupales	cuando el profesor abre los resultados de la competencia	el sistema presenta el puntaje individual o grupal con respuestas registradas
PROF008	Como un Profesor	Necesito duplicar y modificar modelos moleculares existentes o crear uno desde cero	Con la finalidad de adaptar un recurso a mis necesidades específicas de enseñanza	1	Duplicar modelo de biblioteca	En caso que se quiera usar como base uno ya disponible	cuando selecciona "duplicar estructura"	el sistema crea una copia editable para ese profesor
				2	Crear simulador desde cero	En caso que el recurso no exista aún	cuando accede a "nuevo simulador"	el sistema permite cargar elementos, definir interacciones y guardar
EST001	Como un Estudiante	Necesito acceder y realizar los cuestionarios, competencias y prácticas que me	Con la finalidad de cumplir con las actividades evaluadas del curso y demostrar	1	Realizar un cuestionario asignado	En caso que el profesor haya programado un cuestionario	cuando se selecciona el cuestionario desde una sección del curso	el sistema permite completarlo dentro del tiempo configurado y registra la entrega con su puntaje
				2	Participar en una competencia asignada	En caso de competencias académicas asignadas en el curso	cuando se accede a la competencia usando un código o PIN	el sistema registra su participación individual o grupal y calcula el puntaje

Fuente: Captura propia de tabla de historias de usuario, elaborada en Excel, 2025.

Figura 29. Historias de usuario (4 de 5) – Apéndice A

		asigne el profesor	mi aprendizaje	3	Realizar una práctica evaluada	En el caso de prácticas con modelos o de laboratorio	cuando se entra a la práctica asignada	el sistema guarda sus respuestas y las envía al profesor para revisión o retroalimentación
EST002	Como un Estudiante	Puedo visualizar e interactuar con estructuras moleculares en 2D o 3D	Con la finalidad de identificar elementos clave como átomos, enlaces, grupos funcionales, etc	1	Interacción con modelo 2D o 3D en cuestionario	En caso que el cuestionario asignado incluya un modelo	cuando se accede a un cuestionario	el sistema permite rotar, acercar o seleccionar elementos de la estructura
				2	Exploración con fines didácticos	En caso que el modelo sea parte del contenido, no del cuestionario	cuando se navega por el recurso visual	el sistema permite manipular libremente el modelo para comprender su forma, función y componentes
EST003	Como un Estudiante	Puedo participar en competencias gamificadas mediante un código de acceso	Con la finalidad de reforzar mis conocimientos de forma lúdica y colaborativa	1	Competencia por grupos asignados automáticamente	En caso que el profesor genere grupos aleatoriamente	cuando se inicia la competencia asignada	el sistema lo coloca directamente en su grupo y contabiliza sus respuestas
				2	Competencia con selección de grupo	En caso que el profesor permita que los estudiantes se agrupen libremente	cuando se elige el grupo antes de empezar la competencia	el sistema registra su selección y muestra el avance grupal en tiempo real
				3	Competencia individual	En el caso de competencias no grupales	cuando se inicia la competencia asignada	el sistema presenta preguntas directamente al estudiante y calcula su puntaje personal
EST004	Como un Estudiante	Puedo consultar mis resultados obtenidos en los cuestionarios, prácticas y competencias	Con la finalidad de conocer mi rendimiento y revisar errores cometidos	1	Visualización del historial general	En caso que se quiera ver un resumen de sus resultados	cuando se selecciona "Mis resultados"	el sistema muestra una lista agrupada por tipo de actividad (cuestionarios, prácticas, competencias)
				2	Revisión detallada de una actividad	En caso que se desee revisar una entrega específica	cuando se hace clic sobre el nombre de una actividad	el sistema presenta la calificación, respuestas dadas, respuestas correctas y retroalimentación
EST005	Como un Estudiante	Necesito entregar los cuestionarios, prácticas y competencias asignadas por el profesor	Con la finalidad de registrar mis respuestas y completar las actividades evaluadas del curso	1	Envío exitoso de una actividad	En caso de que el estudiante haya completado todos los campos requeridos	cuando se hace clic en "Enviar" o "Finalizar"	el sistema registra la entrega, muestra un mensaje de confirmación y marca la actividad como completada
				2	Error de envío por ítems incompletos	En caso que falte una respuesta obligatoria o el tiempo haya expirado	cuando el estudiante hace clic en "Finalizar actividad"	el sistema muestra un mensaje de error detallando lo que falta o por qué no se puede enviar

Fuente: Captura propia de tabla de historias de usuario, elaborada en Excel, 2025.

Figura 30. Historias de usuario (5 de 5) – Apéndice A

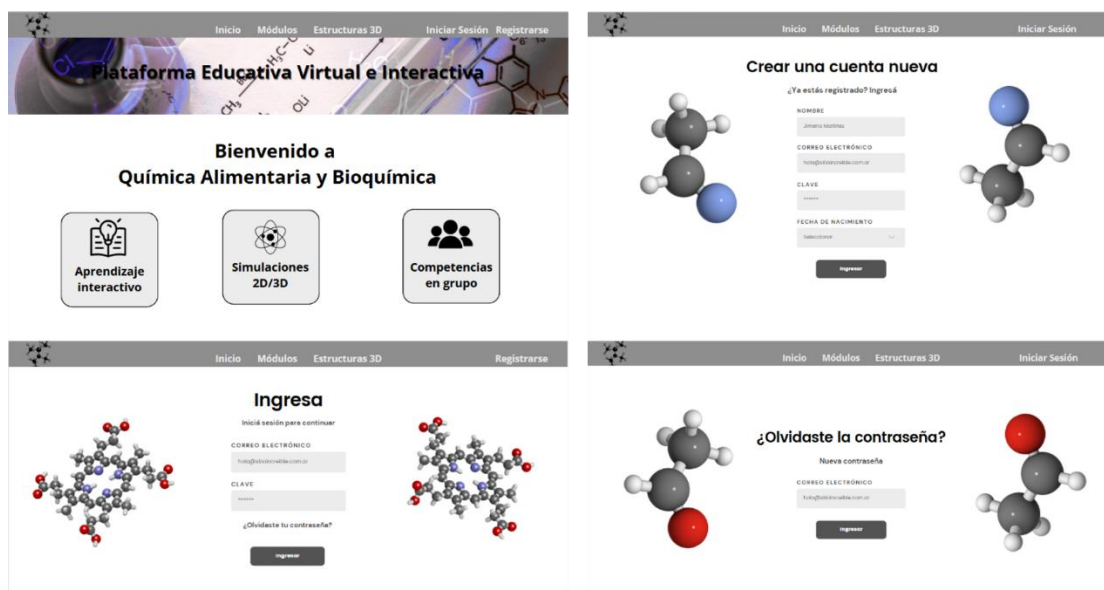
EST006	Como un Estudiante	Puedo consultar los recursos adicionales disponibles en los módulos del curso	Con la finalidad de reforzar lo aprendido mediante guías, videos y otro material de apoyo	1	Acceso a materiales del curso	En caso que el profesor haya subido archivos o enlaces	cuando se accede al curso	el sistema muestra la lista de recursos disponibles (PDF, vídeo, imagen, documento, etc)
EST007	Como un Estudiante	Puedo realizar prácticas o ejercicios disponibles de forma voluntaria sin que estén asignados por el profesor	Con la finalidad de practicar por mi cuenta y reforzar mis conocimientos sin que esto afecte a mi calificación	1	Resolución de prácticas libres	En caso que se quiera practicar de forma autónoma	cuando se accede a una biblioteca con actividades estándar sobre un tema	el sistema permite realizar la actividad, ver retroalimentación automática sin enviarla al profesor

Fuente: Captura propia de tabla de historias de usuario, elaborada en Excel, 2025.

Apéndice B. Pantallas del prototipo de baja fidelidad

- Vista General

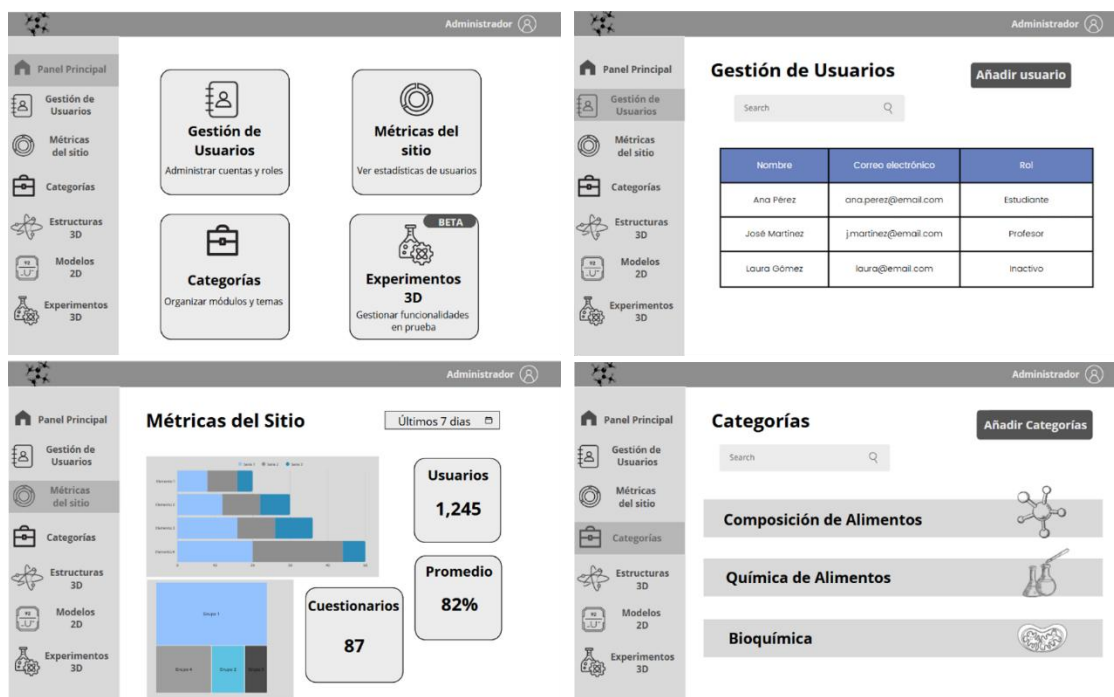
Figura 31. Prototipo de baja fidelidad Vista General – Apéndice B



Fuente: Elaboración propia en Canva, 2025.

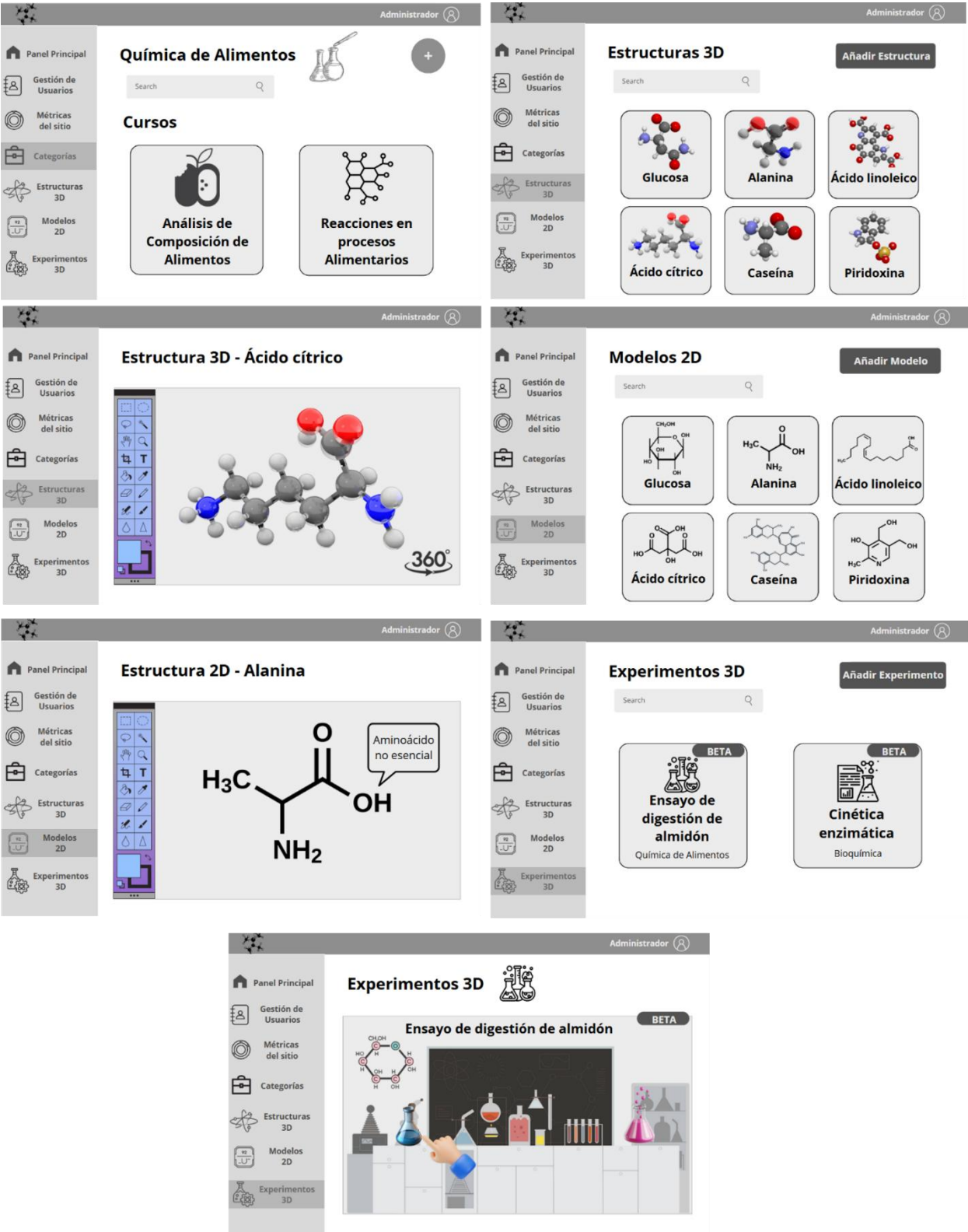
- Vista Administrador

Figura 32. Prototipo de baja fidelidad Vista Administrador (1 de 2) – Apéndice B



Fuente: Elaboración propia en Canva, 2025.

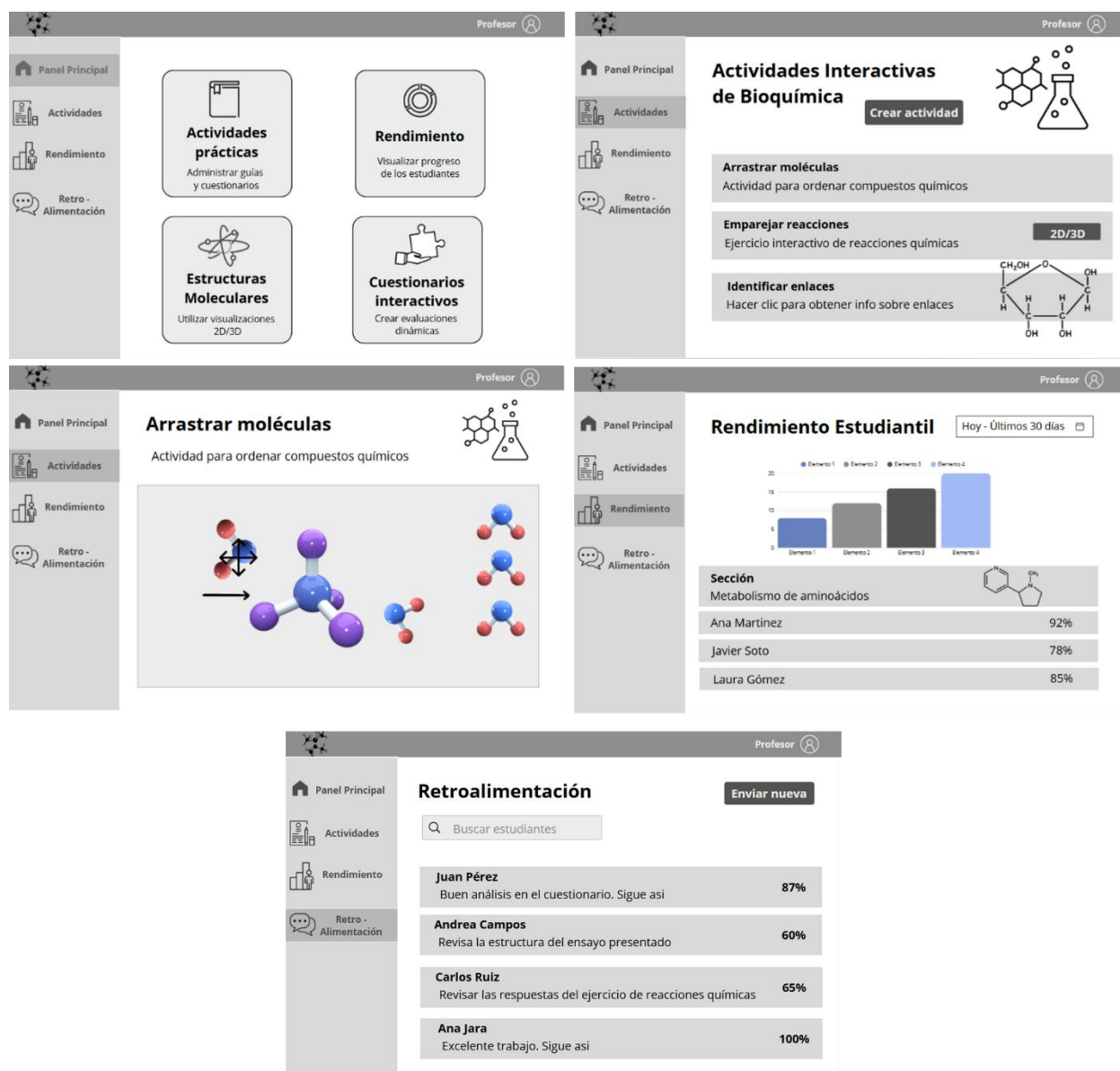
Figura 33. Prototipo de baja fidelidad Vista Administrador (2 de 2) – Apéndice B



Fuente: Elaboración propia en Canva, 2025.

- **Vista Profesor**

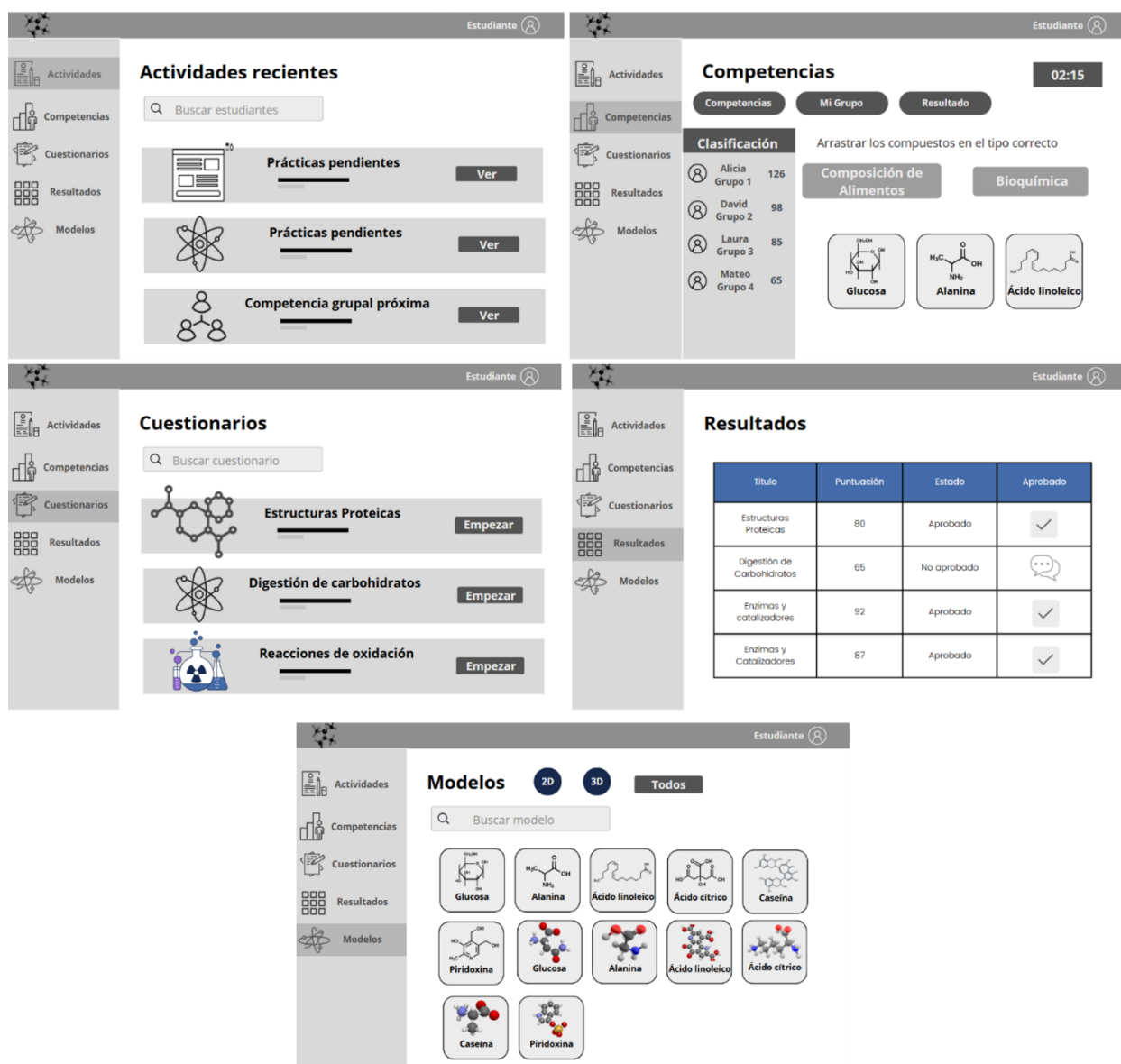
Figura 34. Prototipo de baja fidelidad Vista Profesor – Apéndice B



Fuente: Elaboración propia en Canva, 2025.

- **Vista Estudiante**

Figura 35. Prototipo de baja fidelidad Vista Estudiante – Apéndice B

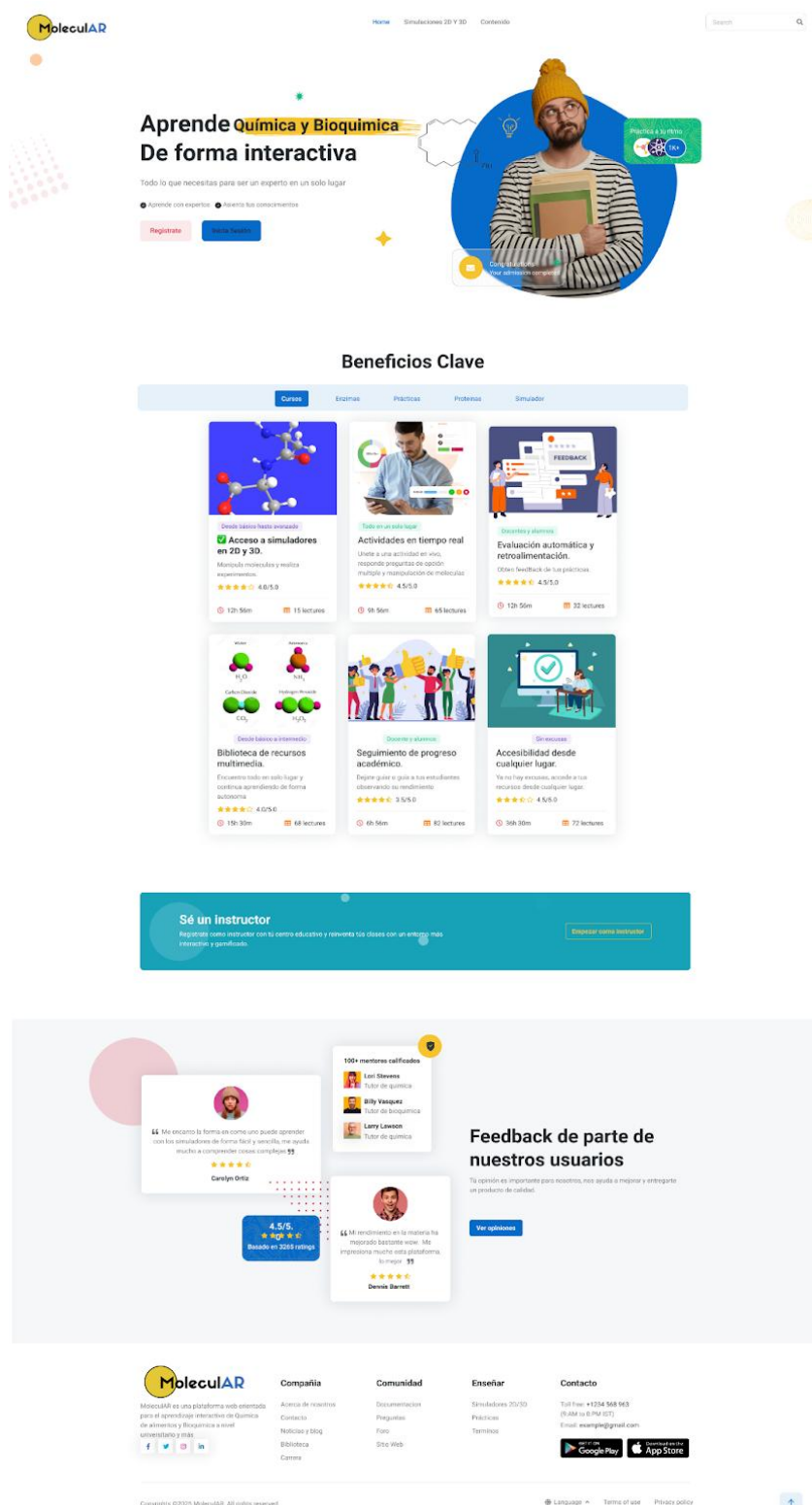


Fuente: Elaboración propia en Canva, 2025.

Apéndice C. Pantallas del prototipo de alta fidelidad

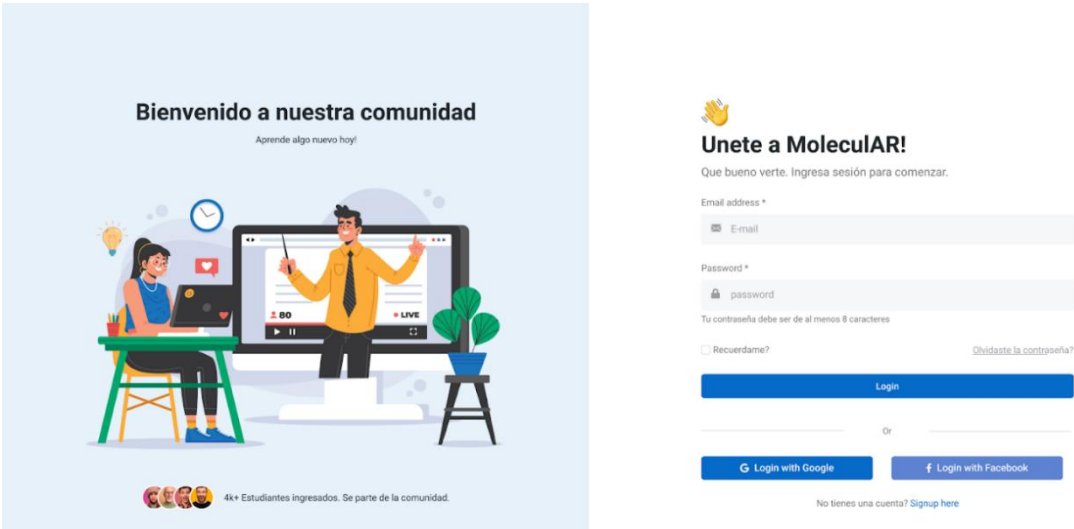
- Vista General

Figura 36. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Home – Apéndice C



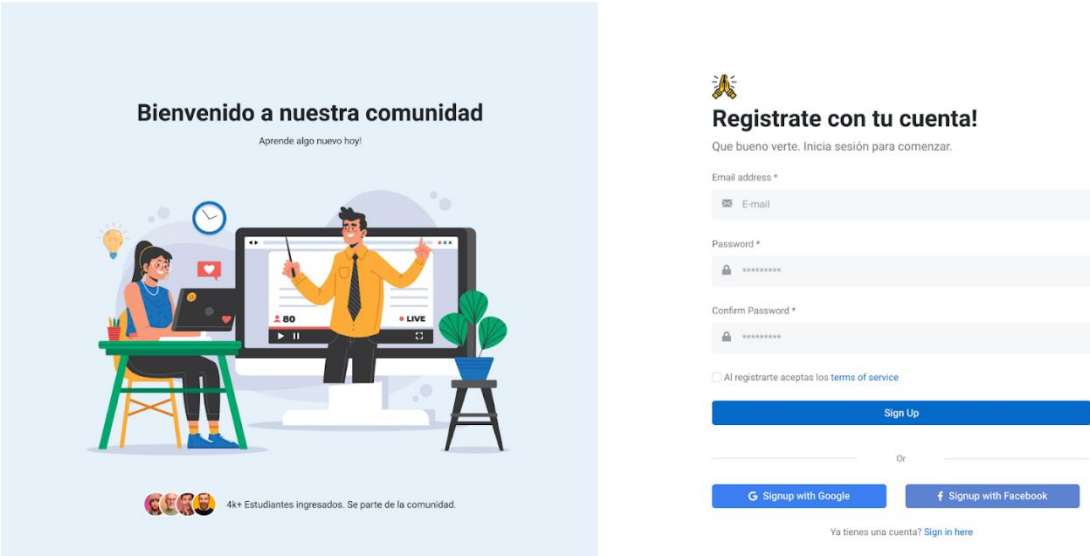
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 37. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Iniciar Sesión – Apéndice C



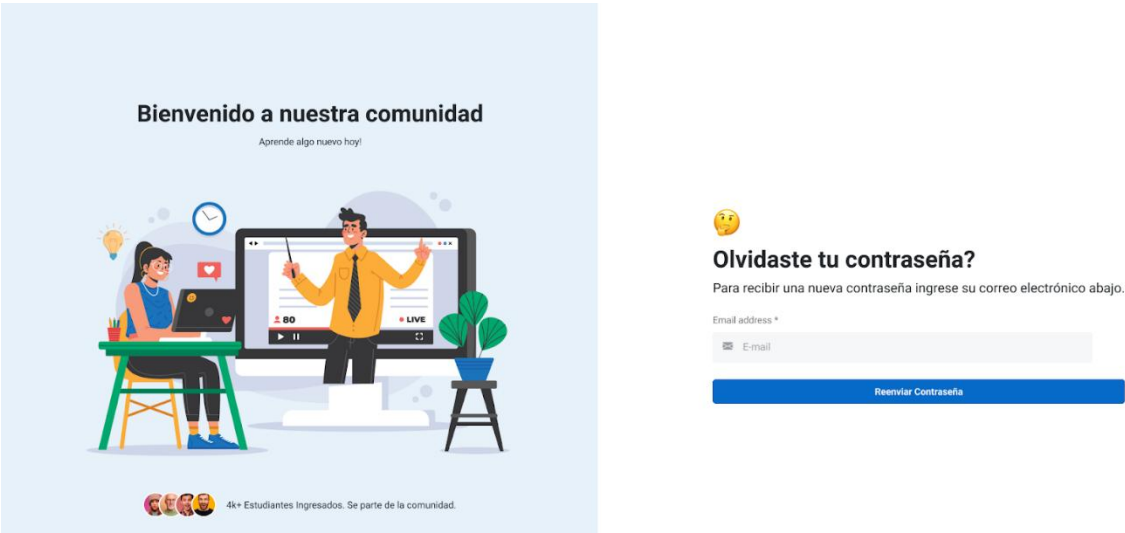
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 38. Prototipo de alta fidelidad Pantalla registrarse – Apéndice C



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

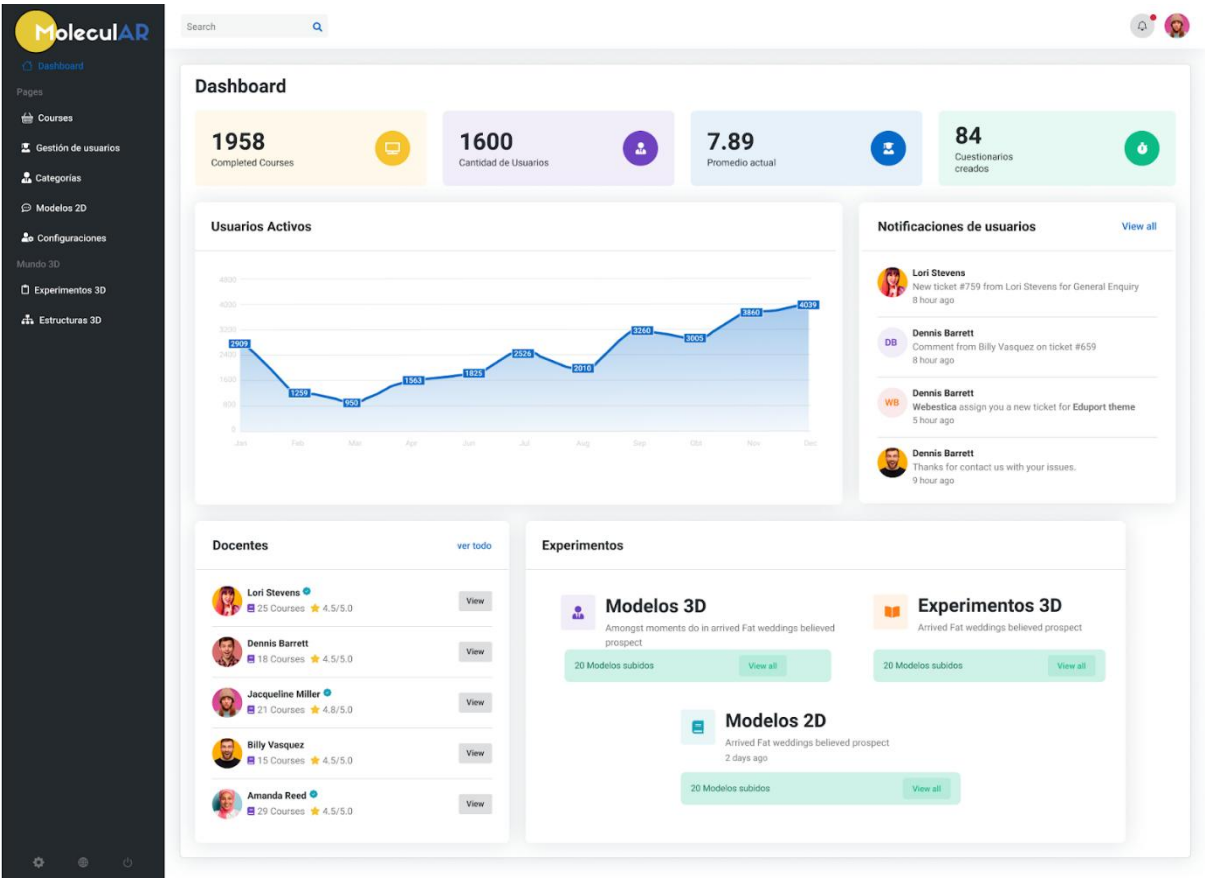
Figura 39. Prototipo de alta fidelidad Pantalla de ¿olvidaste tu contraseña? – Apéndice C



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

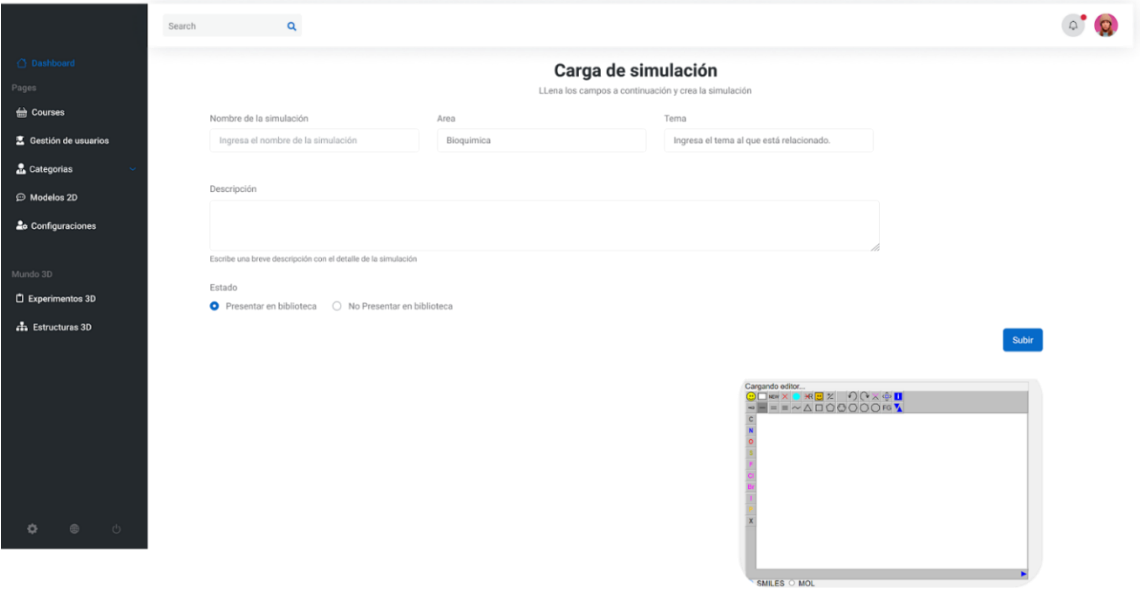
- Vista Administrador

Figura 40. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Dashboard Administrador – Apéndice C



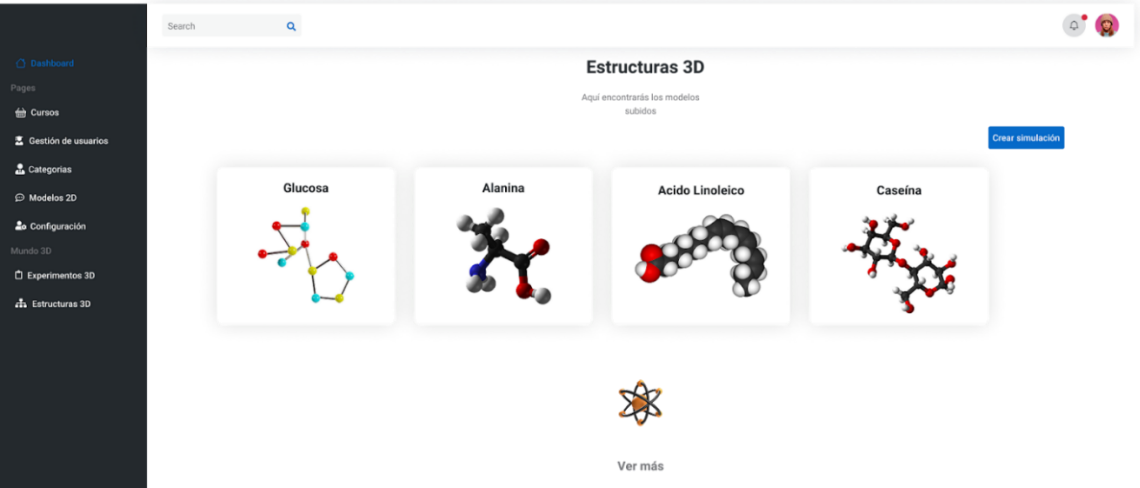
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 41. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Crear Estructuras 2D/3D – Apéndice C



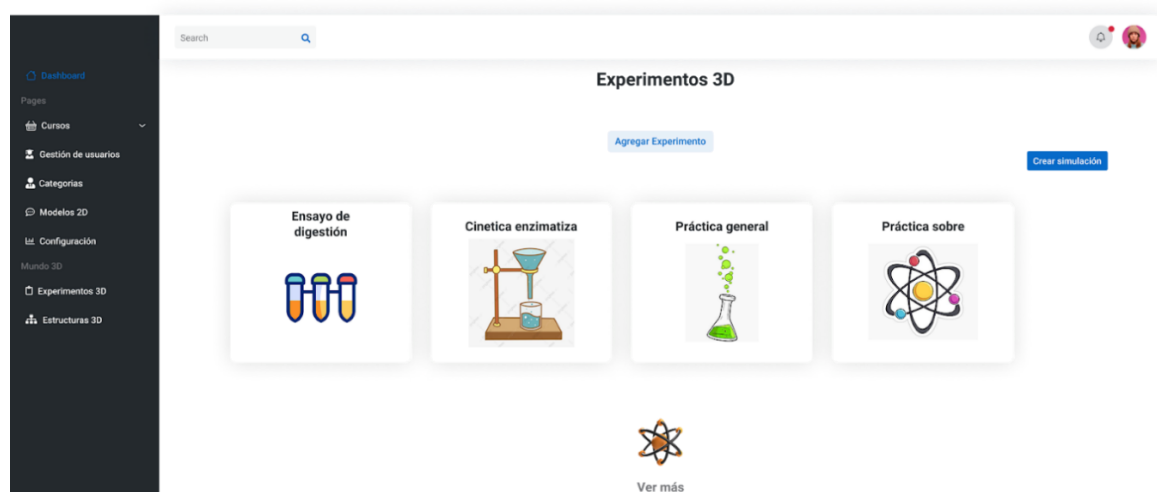
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 42. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Banco de estructuras 3D – Apéndice C



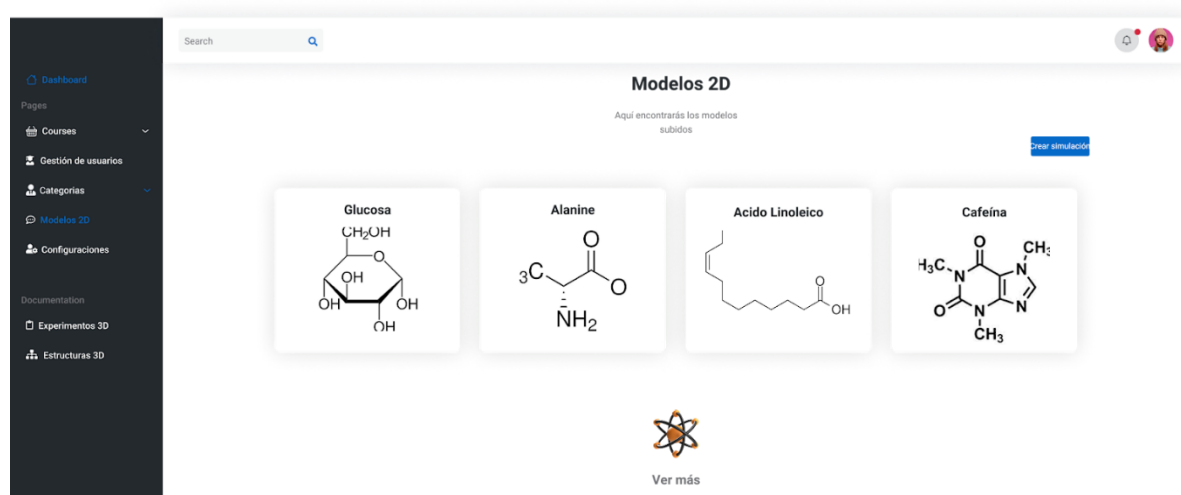
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 43. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Experimentos – Apéndice C



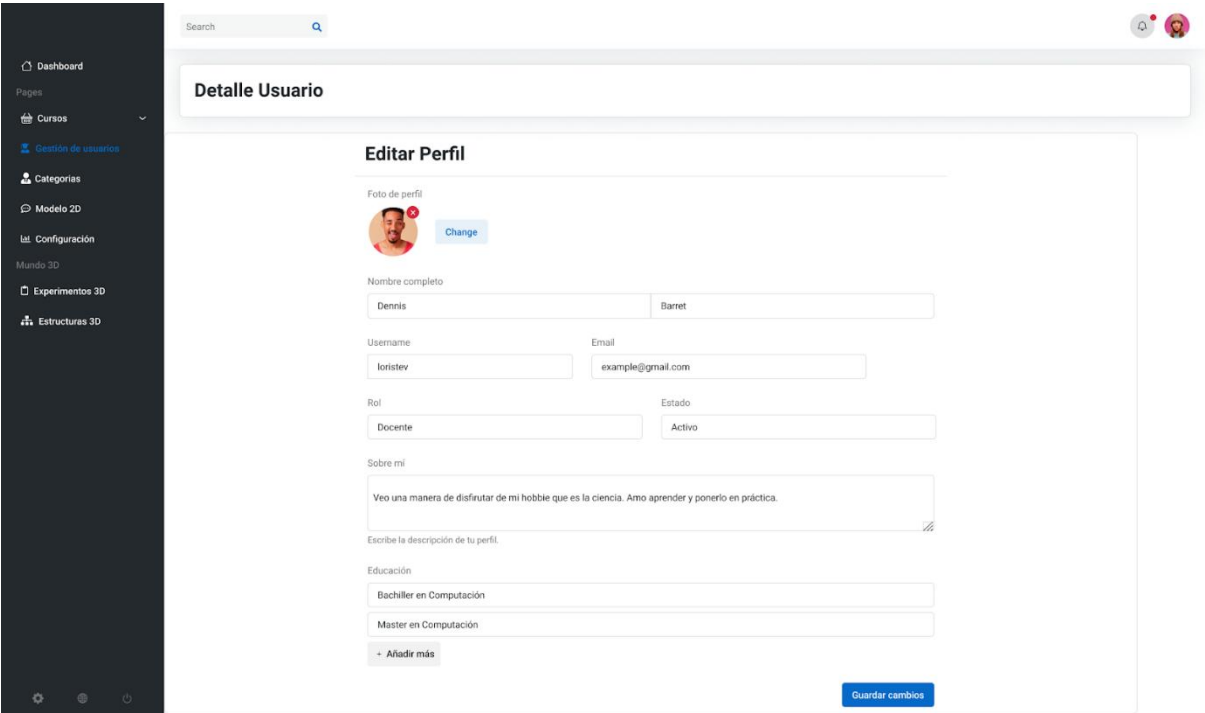
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 44. Prototipo de alta fidelidad Pantalla banco de Modelos 2D – Apéndice C



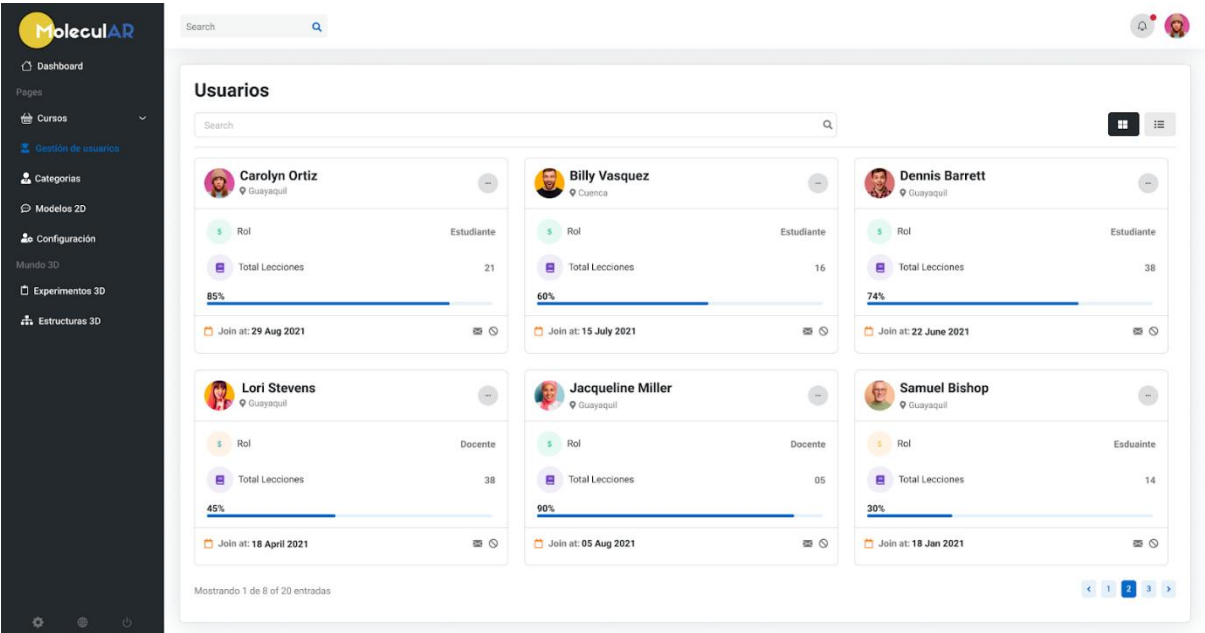
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 45. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Editar perfil – Apéndice C



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

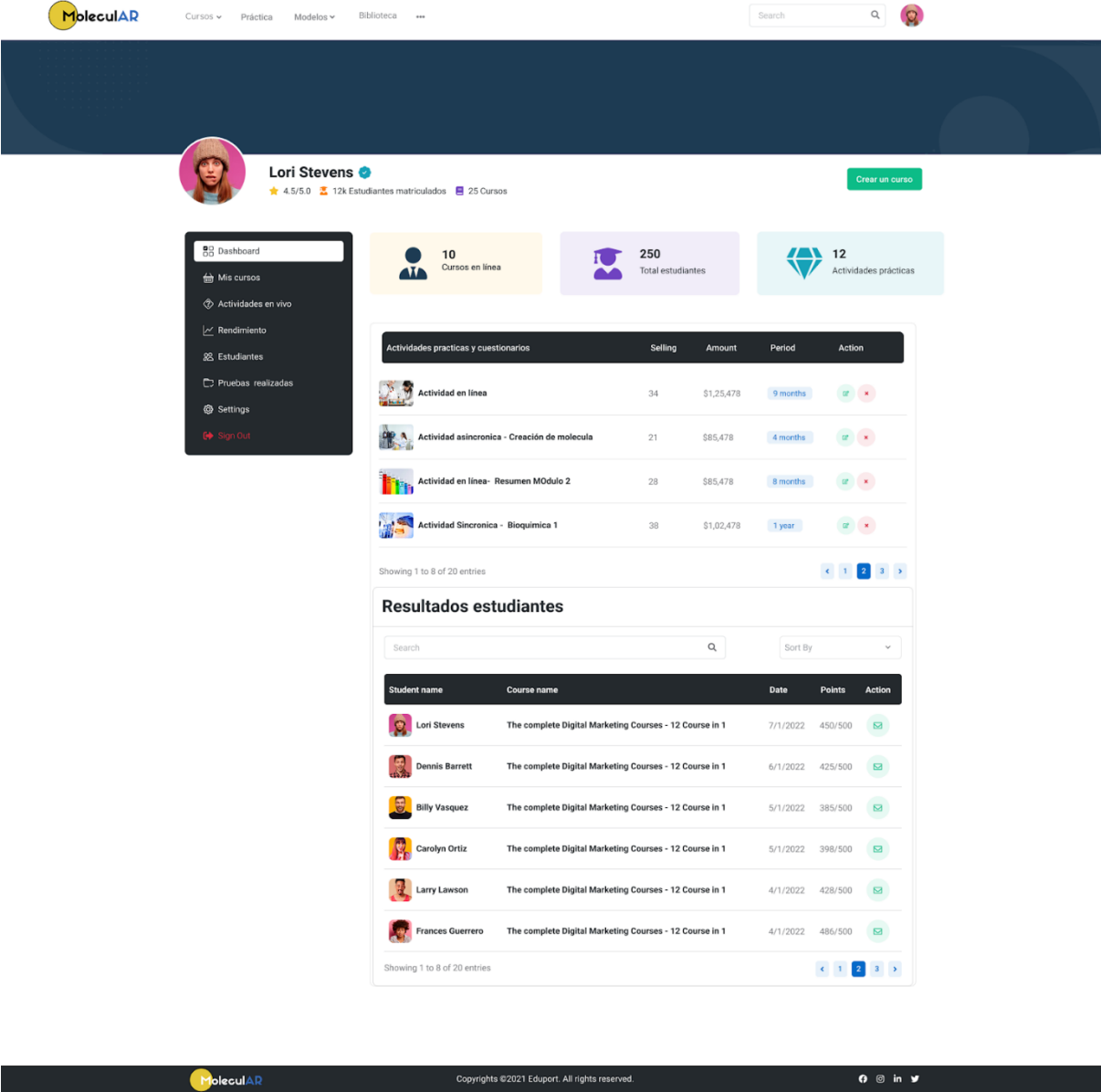
Figura 46. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Vista usuarios – Apéndice C



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

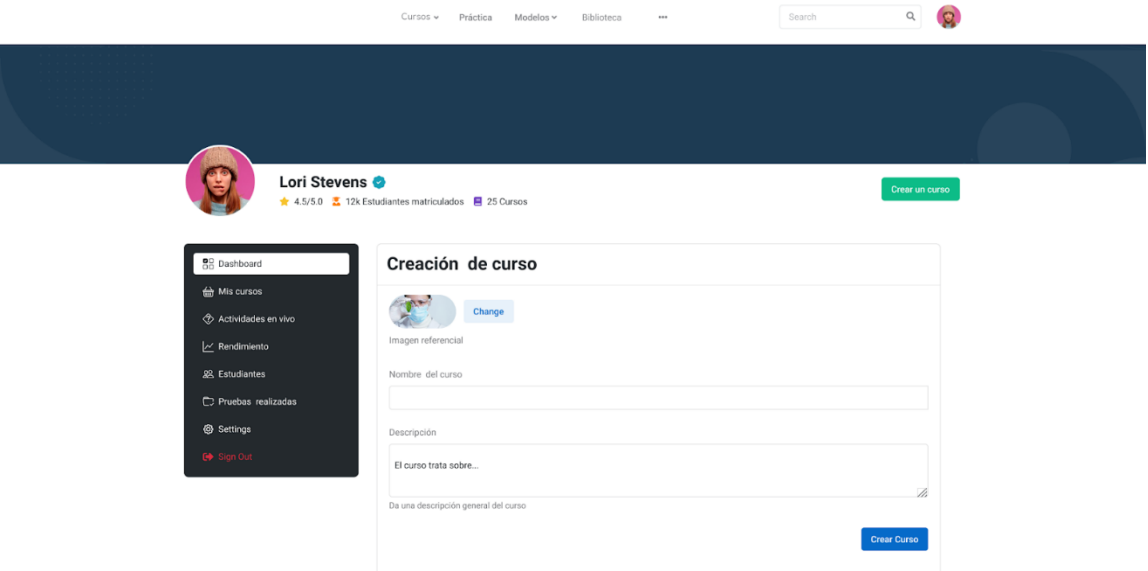
- **Vista Profesor**

Figura 47. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Dashboard Profesor – Apéndice C



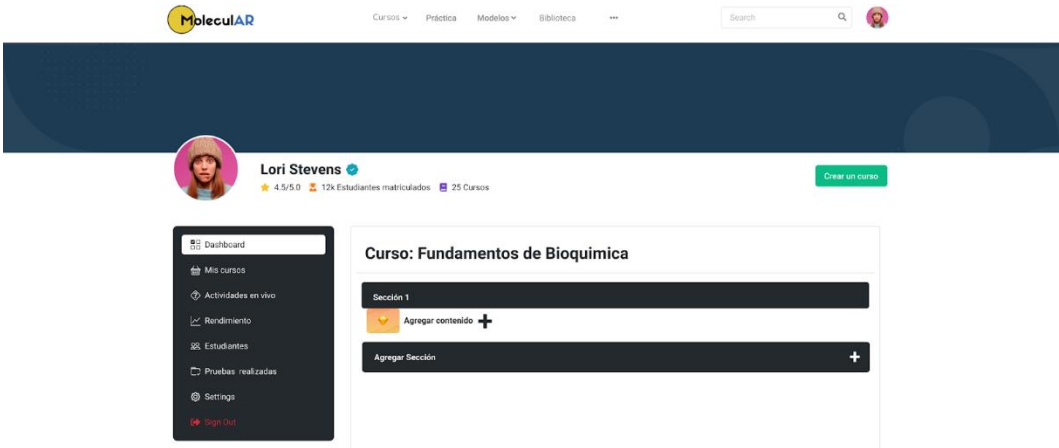
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 48. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Crear curso – Apéndice C



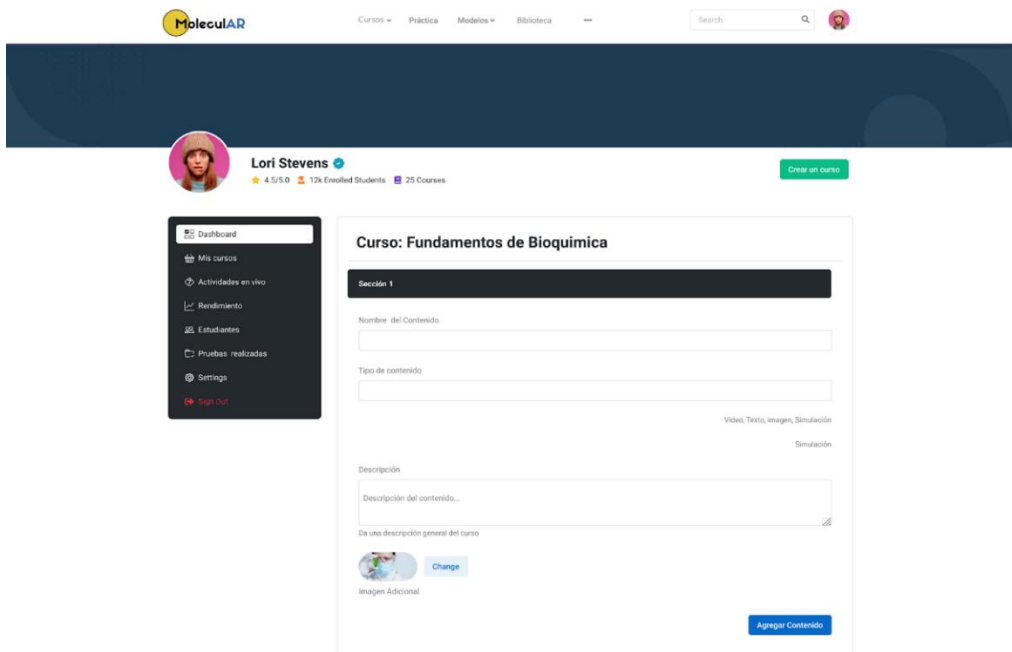
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 49. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Curso creado



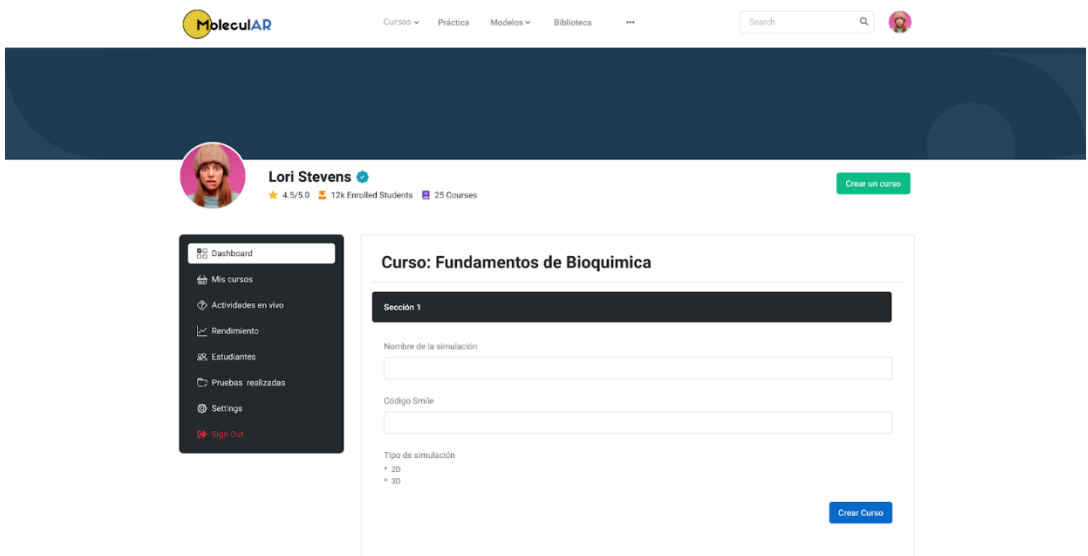
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 50. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Agregar contenido



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 51. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Agregar simulación – Apéndice C



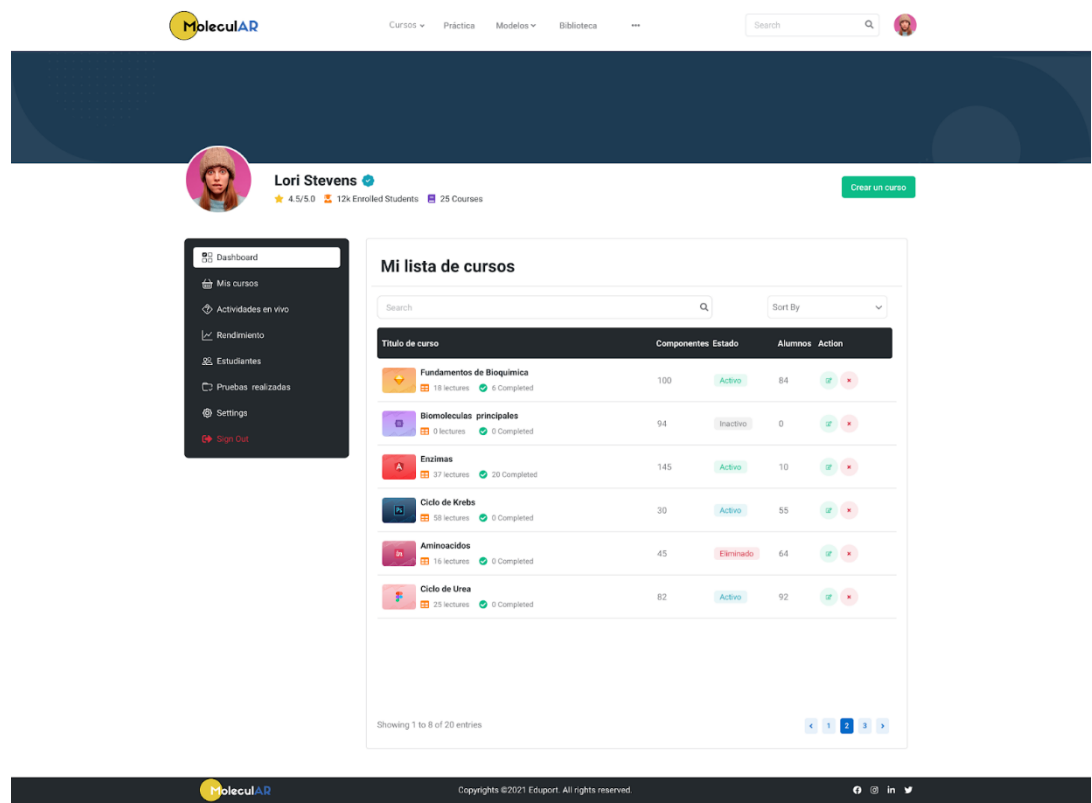
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 52. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Eliminar curso – Apéndice C



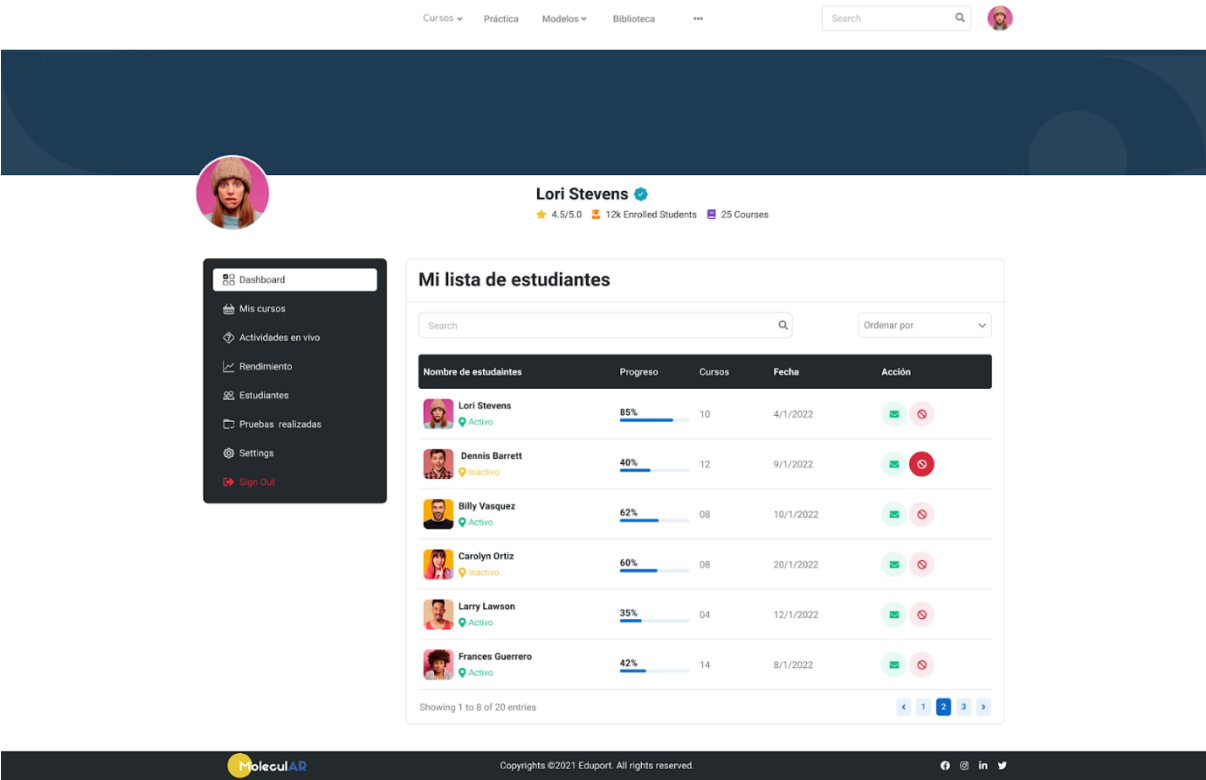
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 53. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Cursos – Apéndice C



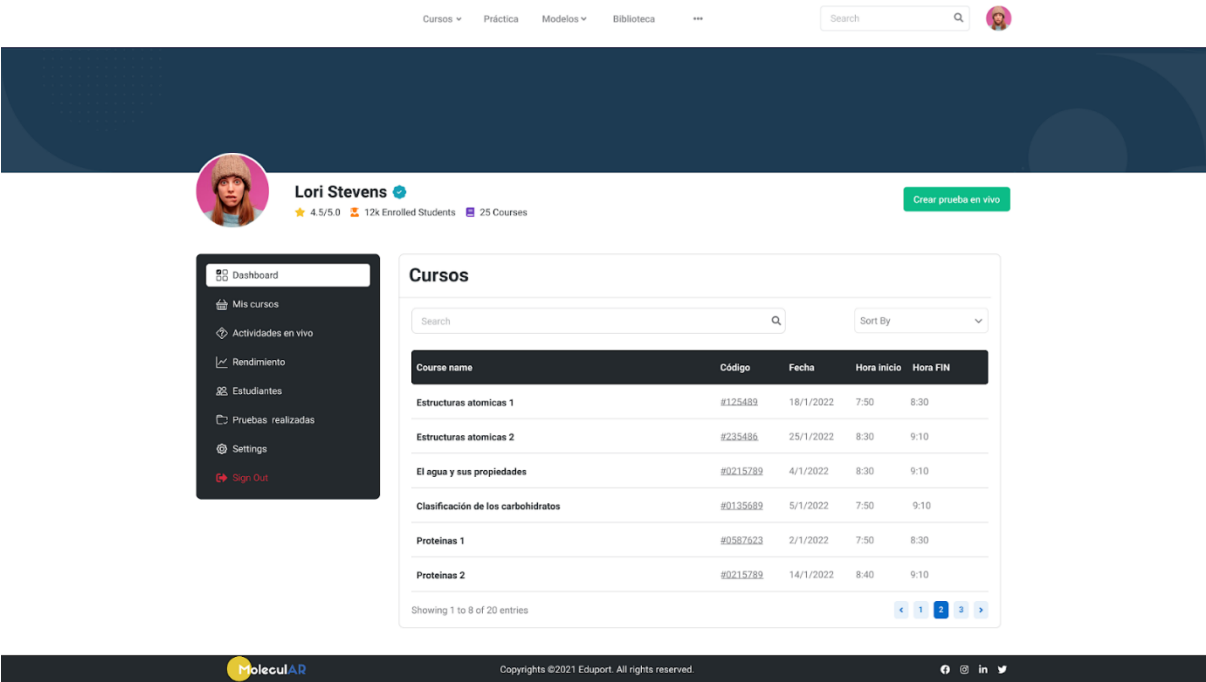
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 54. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Visualizar estudiantes – Apéndice C



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 55. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Prácticas realizadas



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 56. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Configuración de curso – Apéndice C

Molecular

Cursos

Práctica

Modelos

Biblioteca

Search

Lori Stevens

4.5/5.0

12k Enrolled Students

25 Courses

Editar

Dashboard

Mis cursos

Actividades en vivo

Rendimiento

Estudiantes

Pruebas realizadas

Settings

Sign Out

Editar Perfil

Foto de perfil

Cambiar

Nombre completo

Lori

Stevens

Username

Eduport.com

loristev

Email

example@gmail.com

Telefono

1234567890

Locación

California

Sobre mí

Me encanta aprender y explorar temas sobre ciencia e historia. Me apasiona mucho la química.

Agrega una descripción a tu perfil.

Educación

Bachiller en computación

Master en computación

Añadir más

Guardar cambios

Configuración

Configuración de perfil

Tu perfil es público

Notificaciones

Elige el tipo de notificación que desea recibir

Notificarme por email cuando ingrese sesión

Enviar un SMS confirmando el pago del plan

Chequear cual(es) dispositivos están conectados

Mostrar que tu perfil es público

Guardar cambios

Cancelar

Actualizar email

Tu actual correo es example@gmail.com

Ingresar tu id del email

Enter new email

Actualizar email

Actualizar contraseña

Current password

Enter current password

Enter new password

Enter New password

Confirm new password

Enter New password

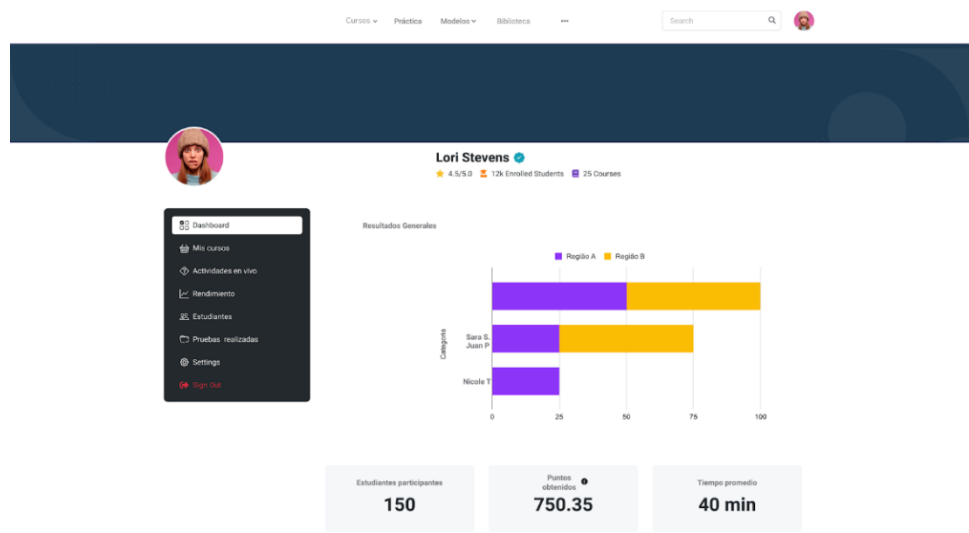
Cambiar contraseña

Molecular

Copyrights ©2021 Eduport. All rights reserved.

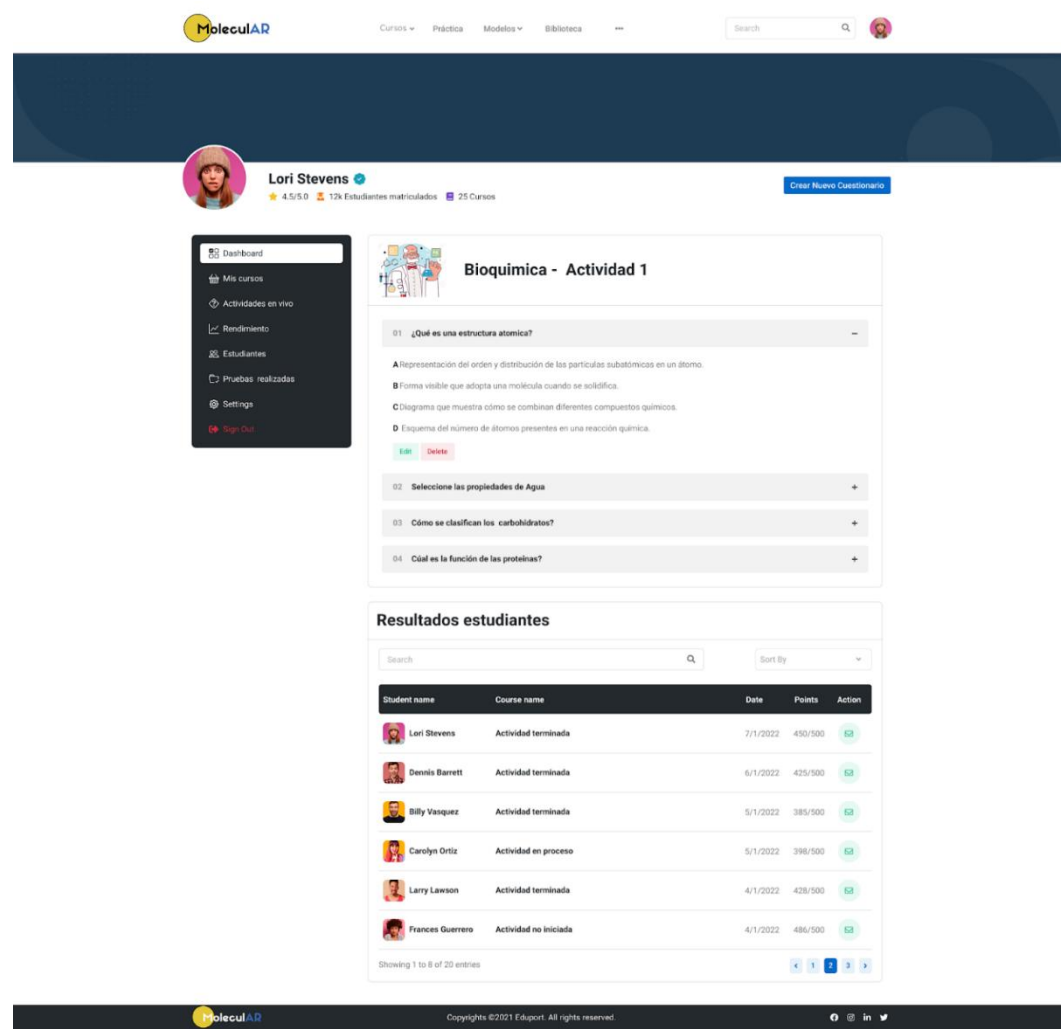
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 57. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Rendimientos estudiantes



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

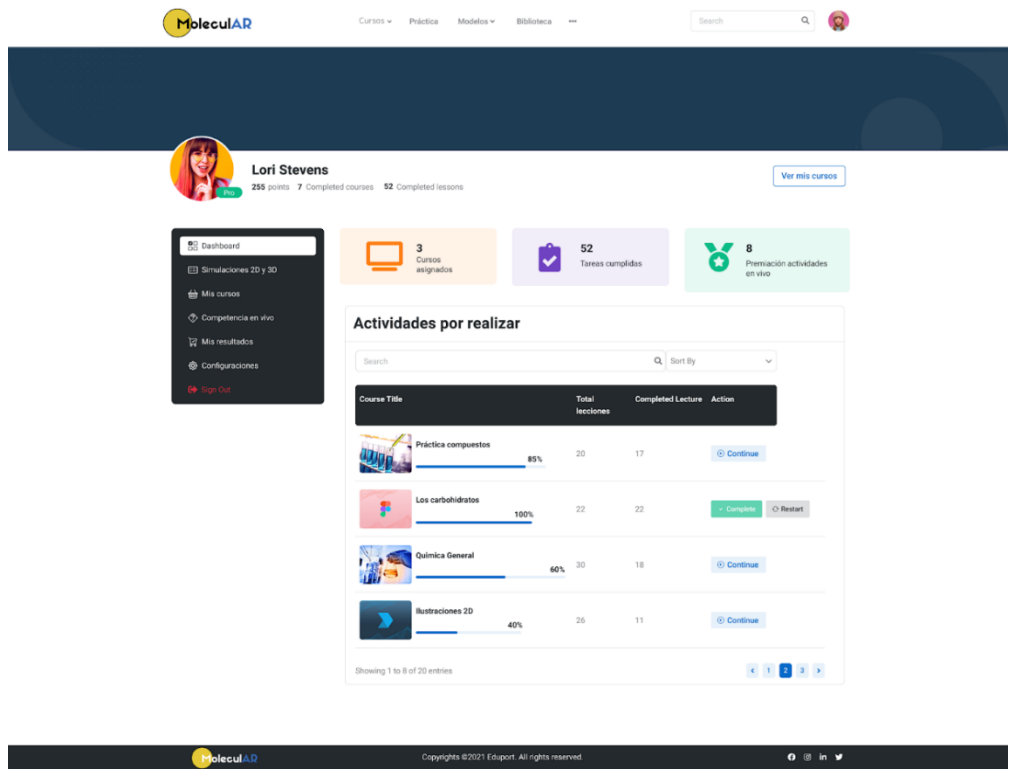
Figura 58. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Cuestionario



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

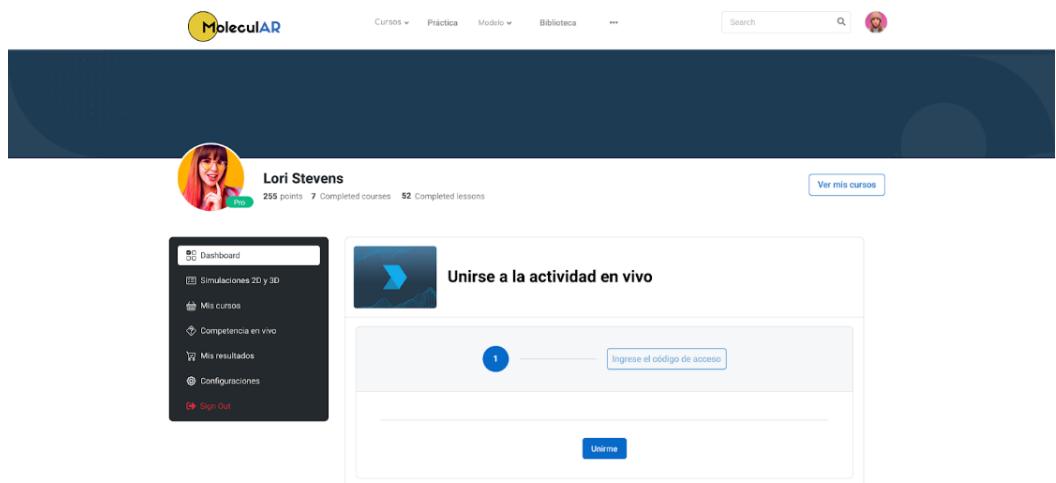
- Vista Estudiante

Figura 59. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Dashboard Estudiante



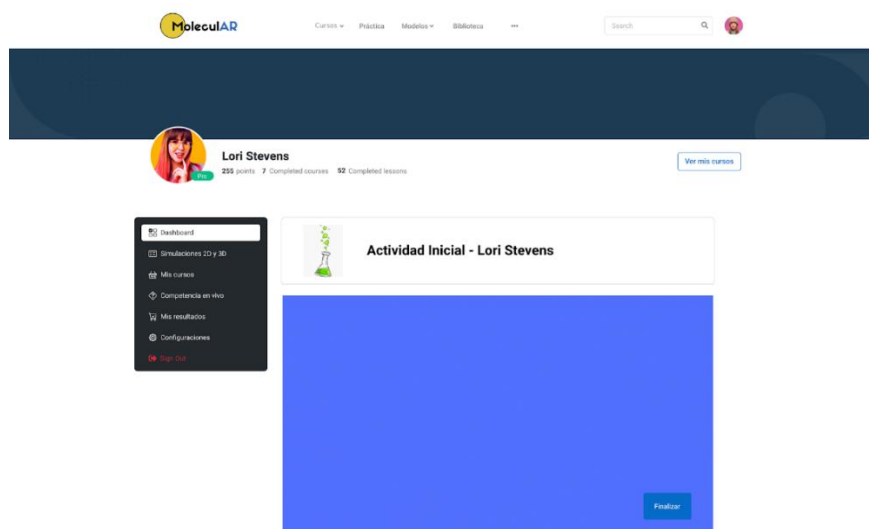
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 60. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Competencias – Apéndice C



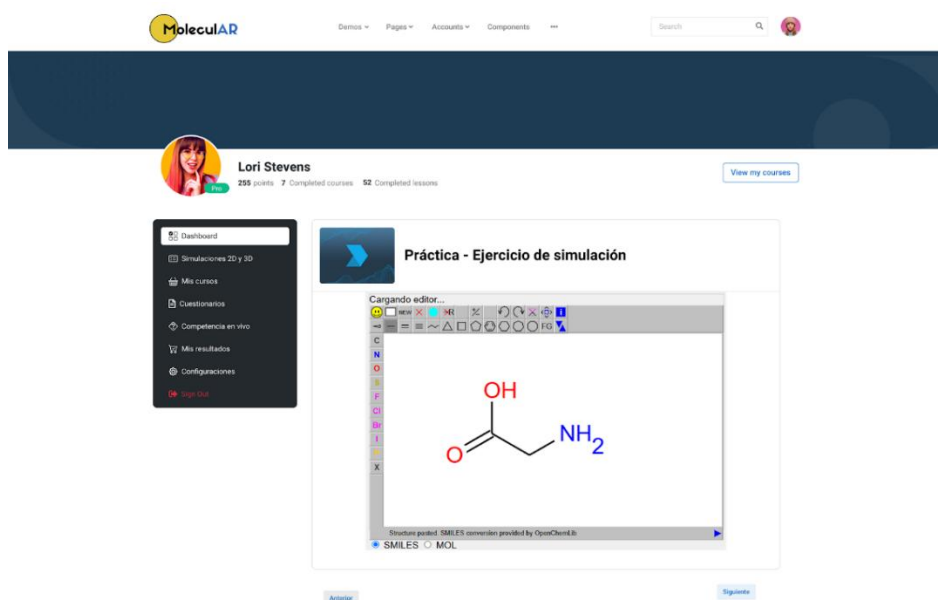
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 61. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Ejercicios Competencia



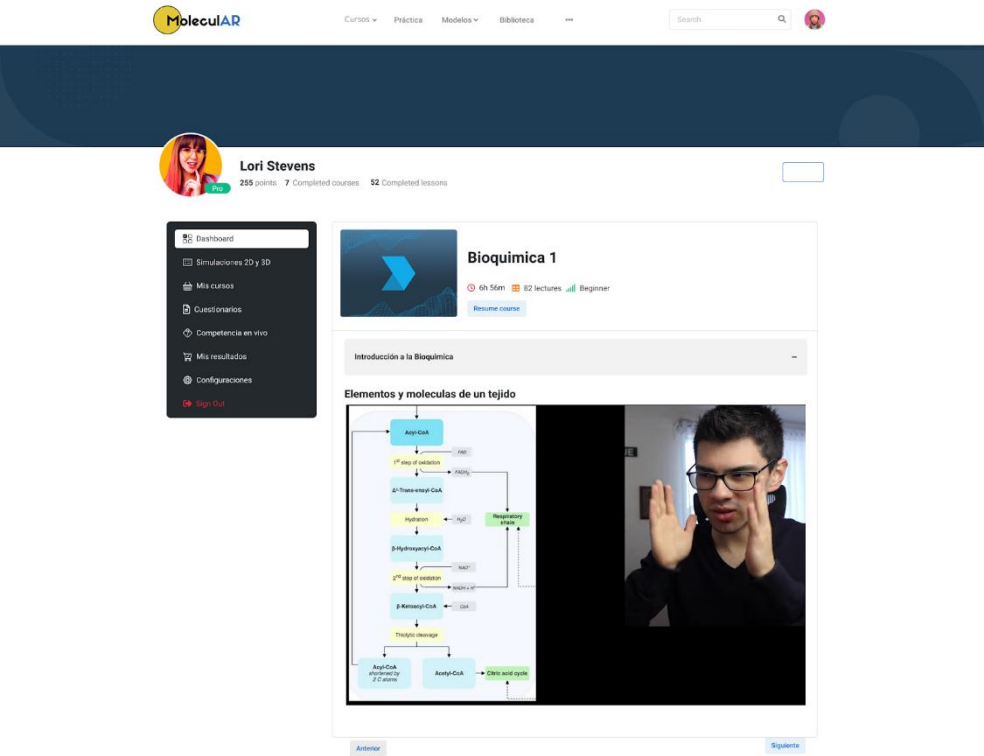
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 62. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Ejercicio de simulación



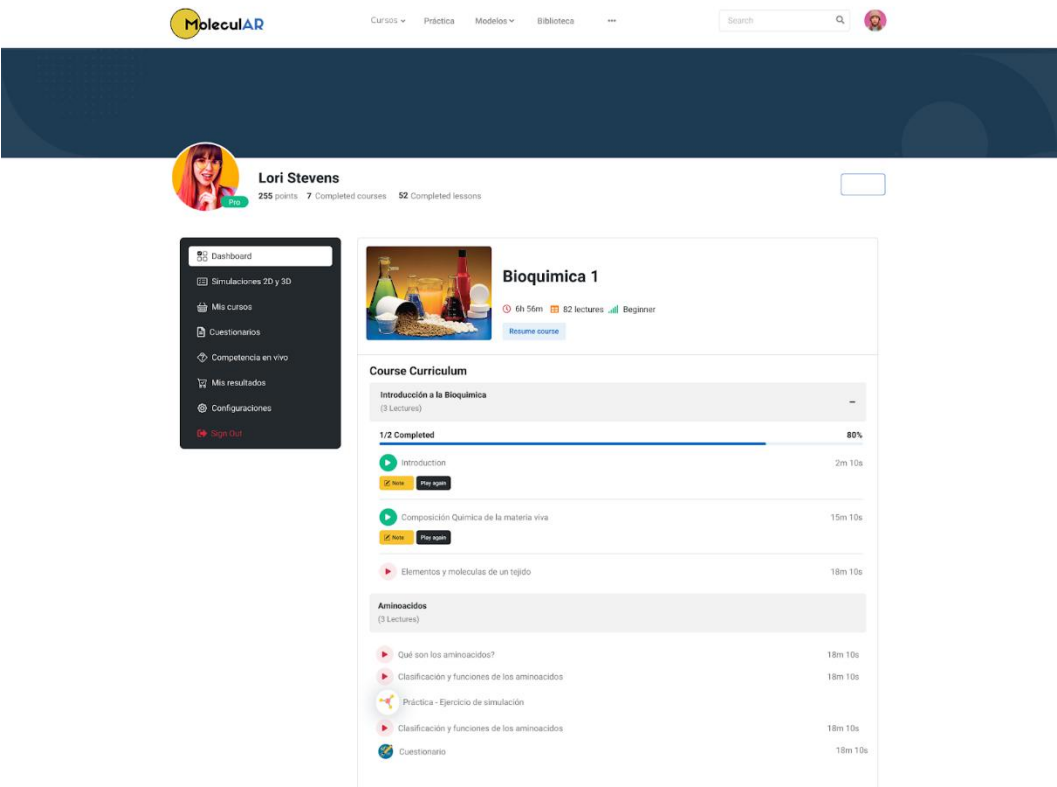
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 63. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Recurso video – Apéndice C



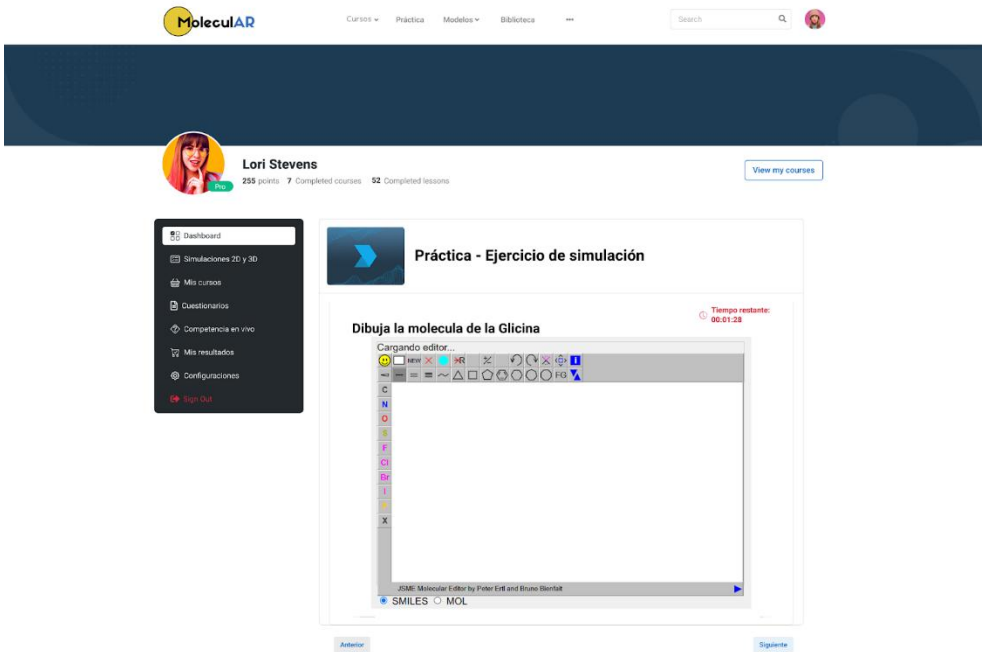
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 64. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Curso estudiante – Apéndice C



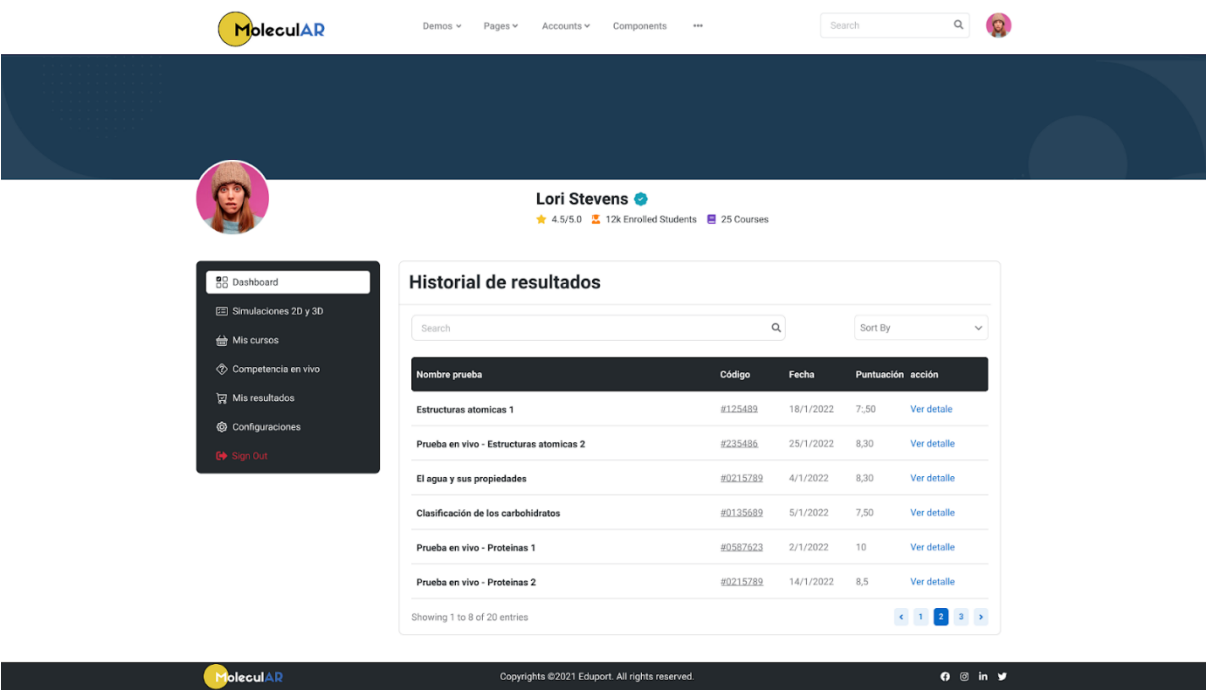
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 65. Prototipo de alta fidelidad Pantalla práctica – Apéndice C



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 66. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Resultados estudiante – Apéndice C



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 67. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Editar perfil – Apéndice C

MolecularAR

Cursos

Práctica

Modelos

Biblioteca

Search

Lori Stevens

4.5/5.0

12k Enrolled Students

25 Courses

Editar

Dashboard

Mis cursos

Actividades en vivo

Rendimiento

Estudiantes

Pruebas realizadas

Settings

Sign Out

Editar Perfil

Foto de perfil

Cambiar

Nombre completo

Lori

Stevens

Username

Eduport.com

loristev

Email

example@gmail.com

Telefono

1234567890

Locación

California

Sobre mí

Me encanta aprender y explorar temas sobre ciencia e historia. Me apasiona mucho la química.

Agrega una descripción a tu perfil.

Educación

Bachiller en computación

Master en computación

Añadir más

Guardar cambios

Configuración

Configuración de perfil

Tu perfil es público

Notificaciones

Elige el tipo de notificación que desea recibir

Notificarme por email cuando ingrese sesión

Enviar un SMS confirmando el pago del plan

Chequear cual(es) dispositivos están conectados

Mostrar que tu perfil es público

Guardar cambios

Cancelar

Actualizar email

Tu actual correo es example@gmail.com

Ingresar tu id del email

Enter new email

Actualizar email

Actualizar contraseña

Current password

Enter current password

Enter new password

Enter New password

Confirm new password

Enter New password

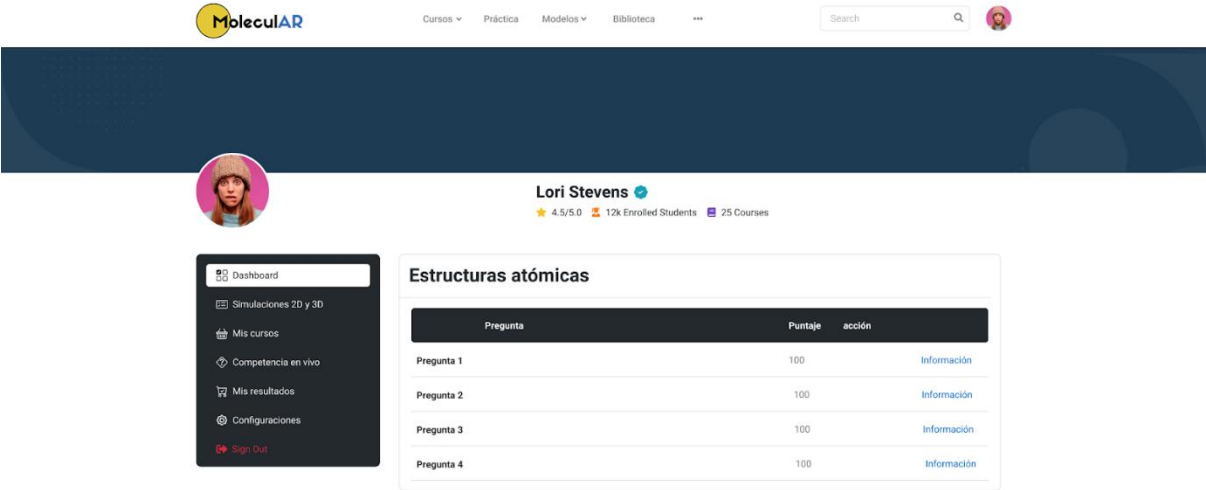
Cambiar contraseña

MolecularAR

Copyrights ©2021 Eduport. All rights reserved.

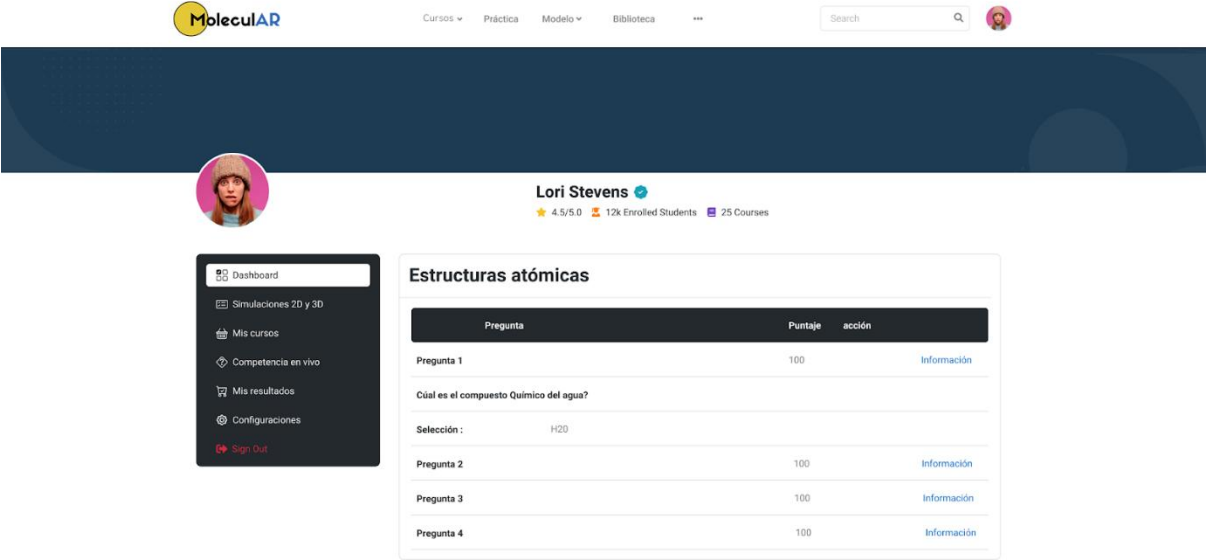
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 68. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Puntuación por pregunta – Apéndice C



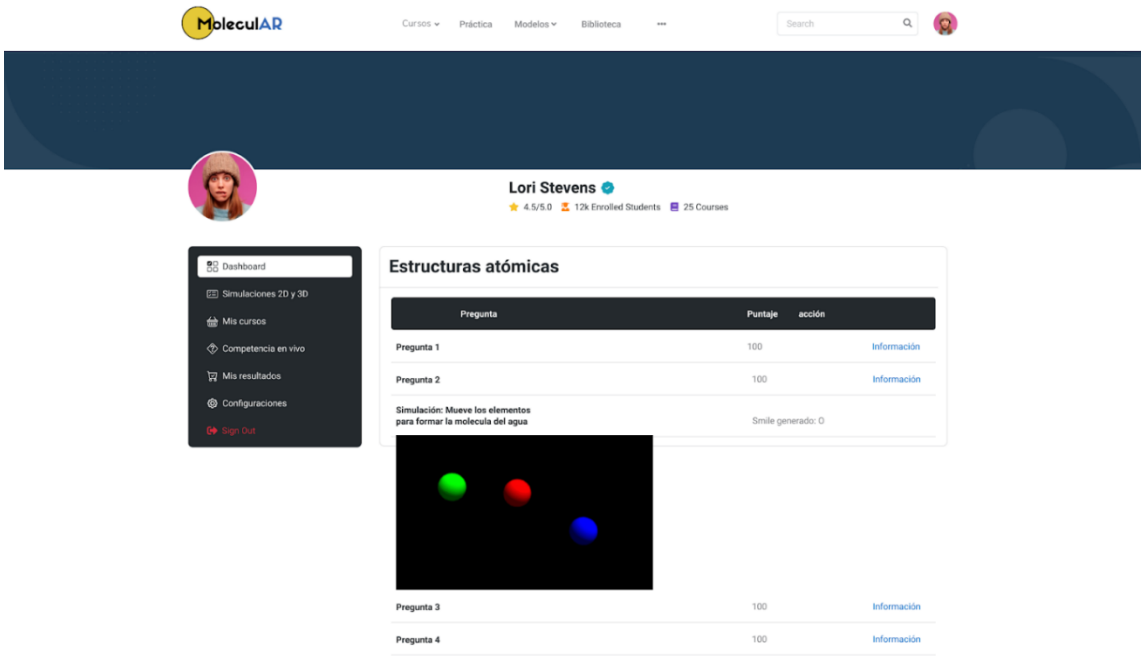
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 69. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Mostrar selección de pregunta – Apéndice C



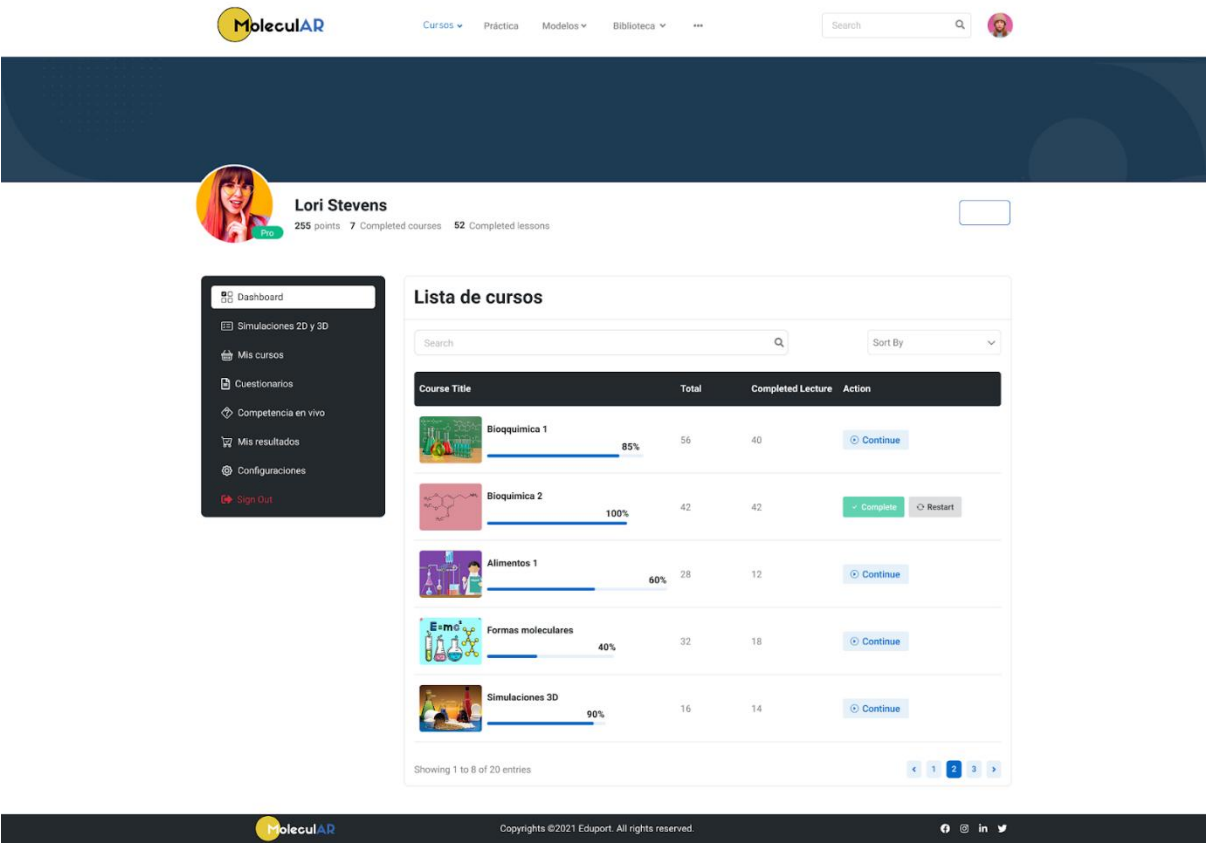
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 70. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Puntaje ejercicio de simulación – Apéndice C



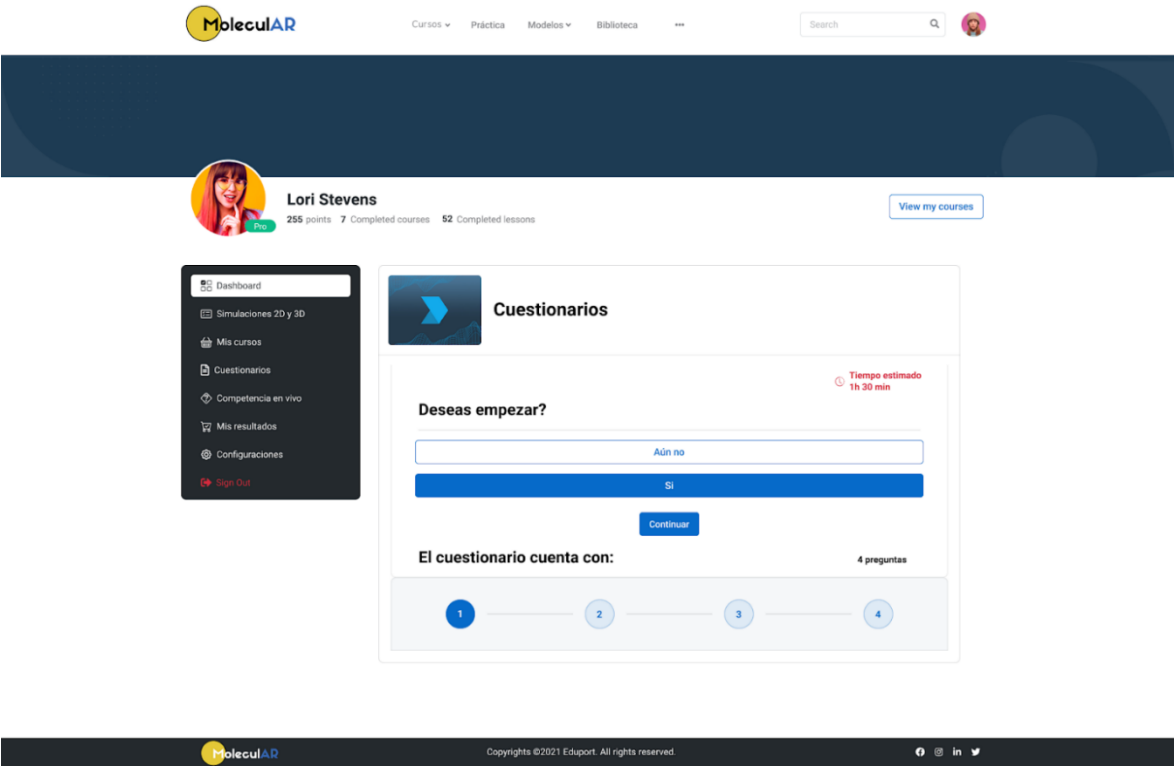
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 71. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Lista de cursos estudiante – Apéndice C



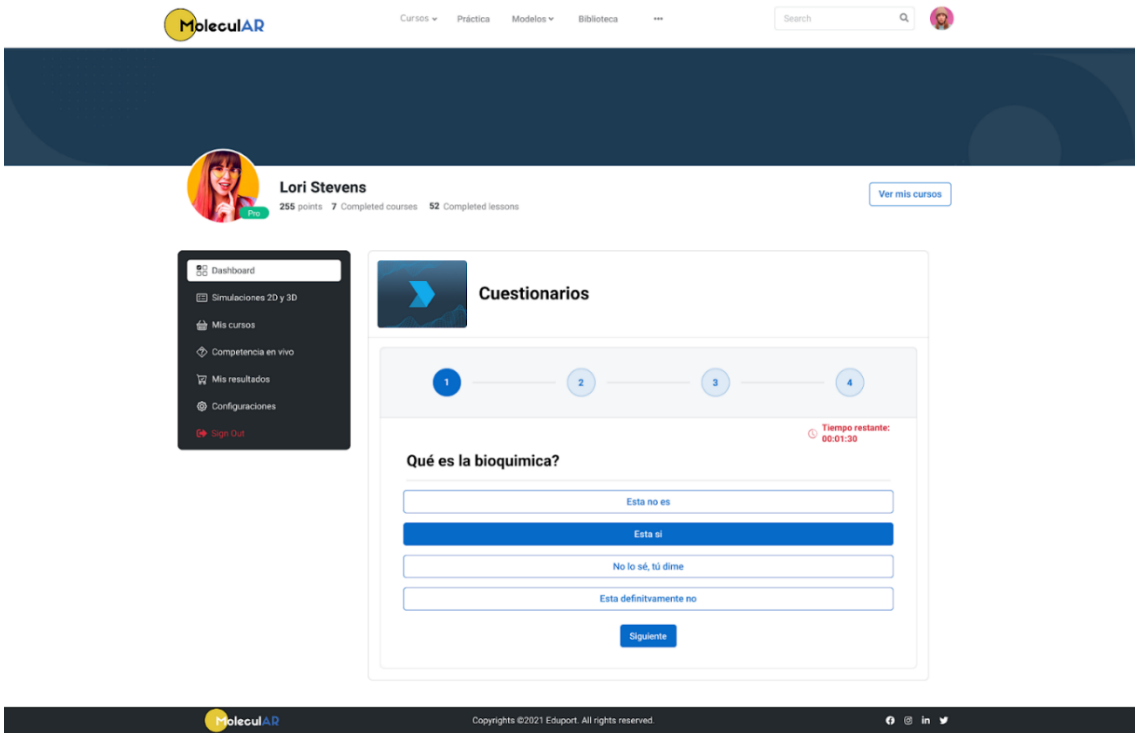
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 72. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Inicio Cuestionario – Apéndice C



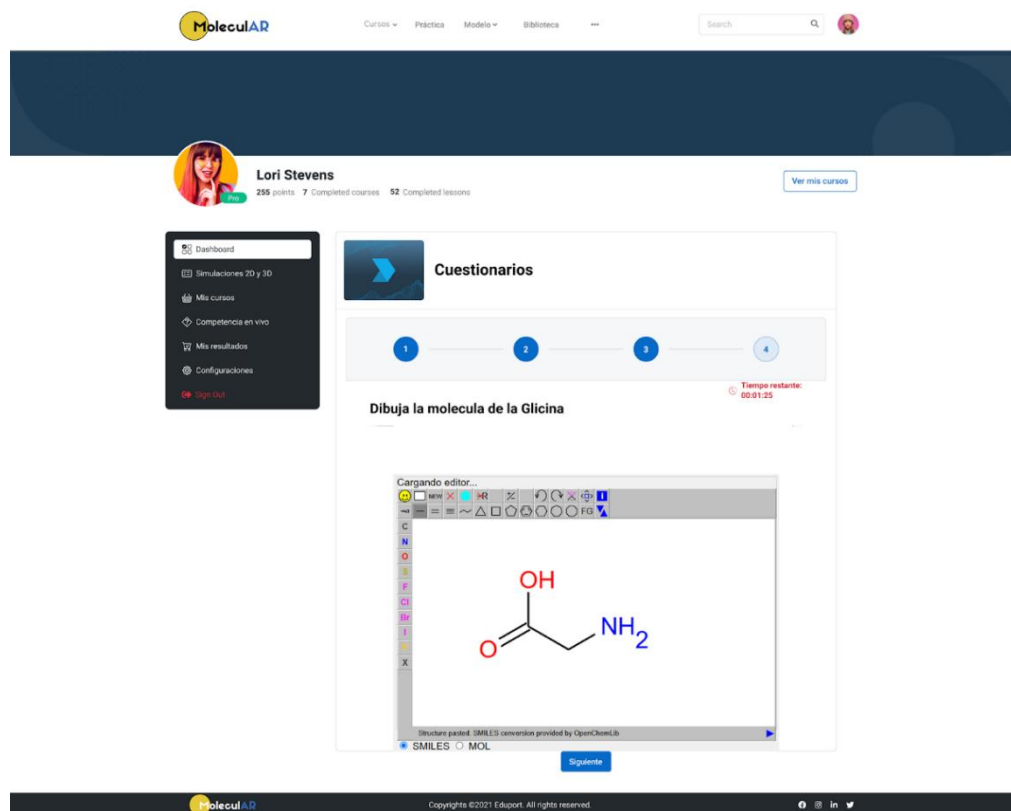
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 73. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Pregunta de Cuestionario – Apéndice C



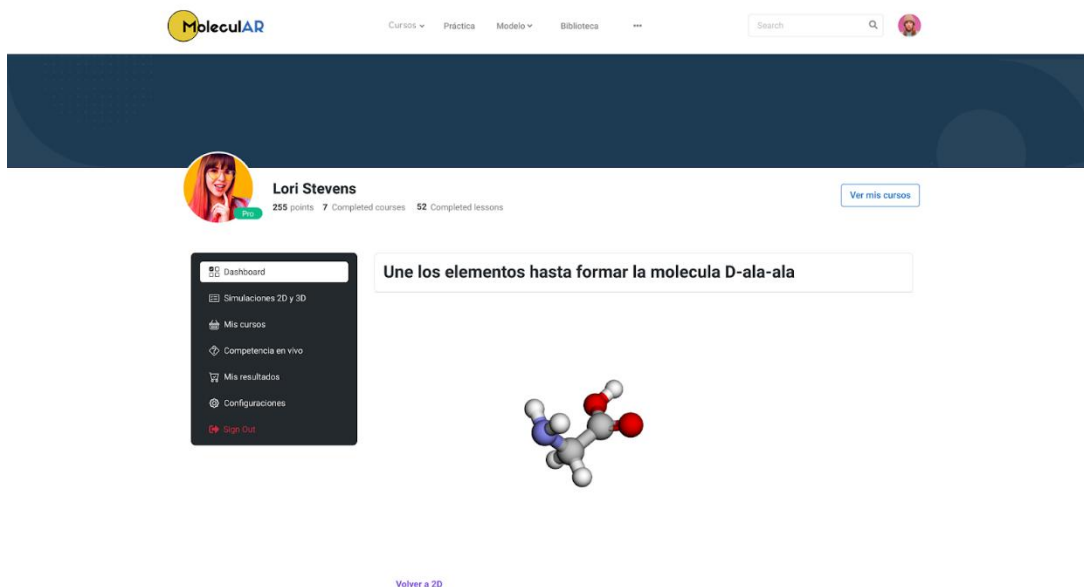
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 74. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Simulador en Cuestionario – Apéndice C



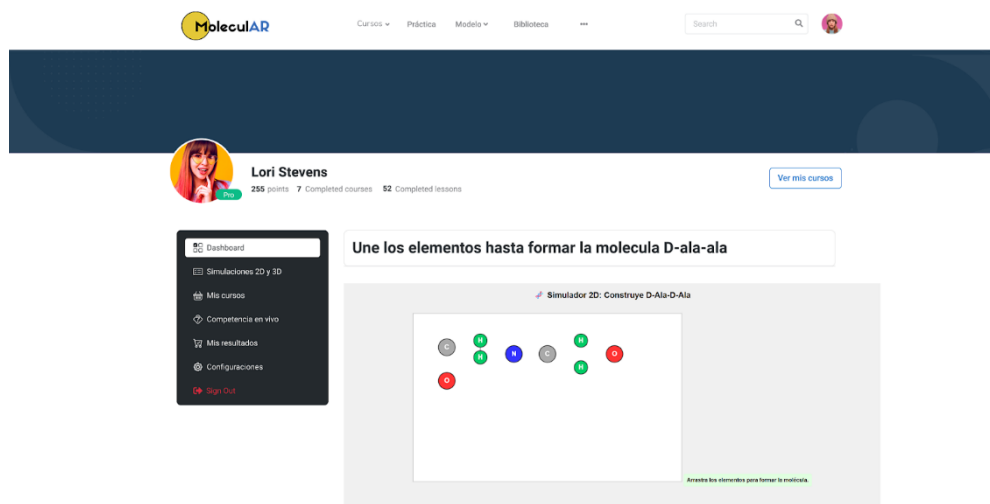
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 75. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Ejercicio 3D – Apéndice C



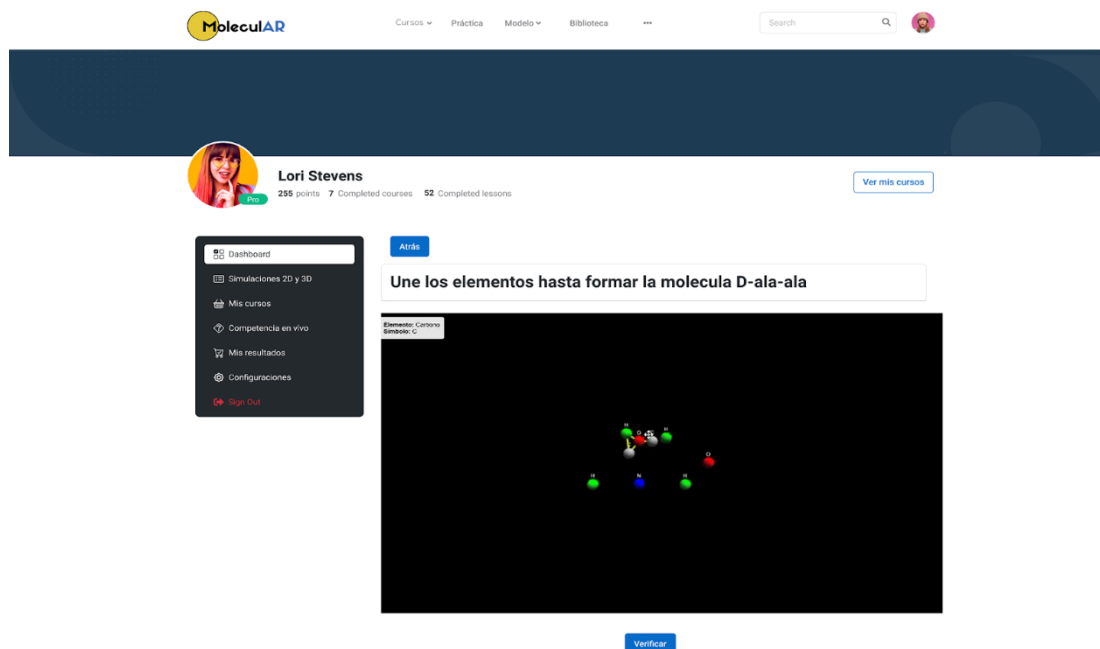
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 76. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Ejercicio 2D – Apéndice C



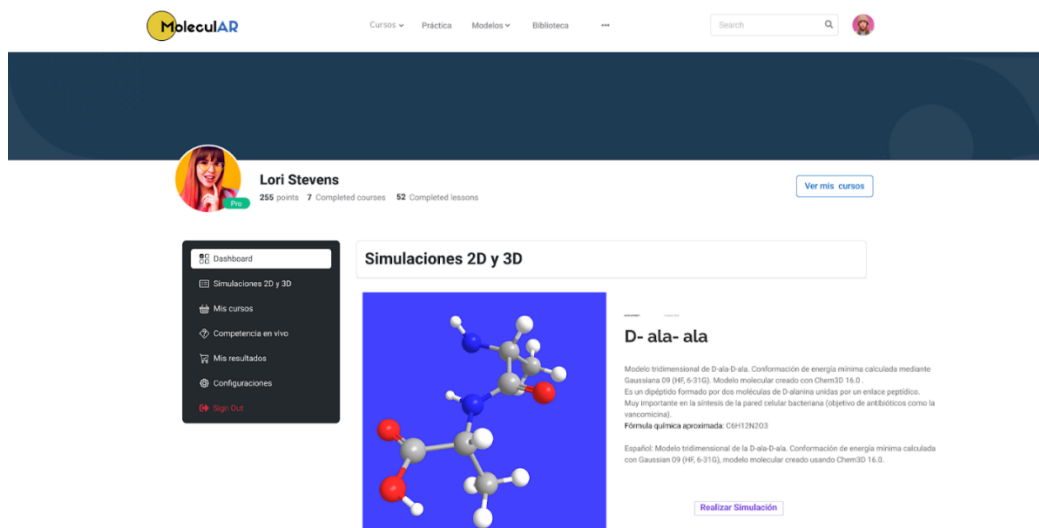
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 77. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Ejercicio 2 en 3D – Apéndice C



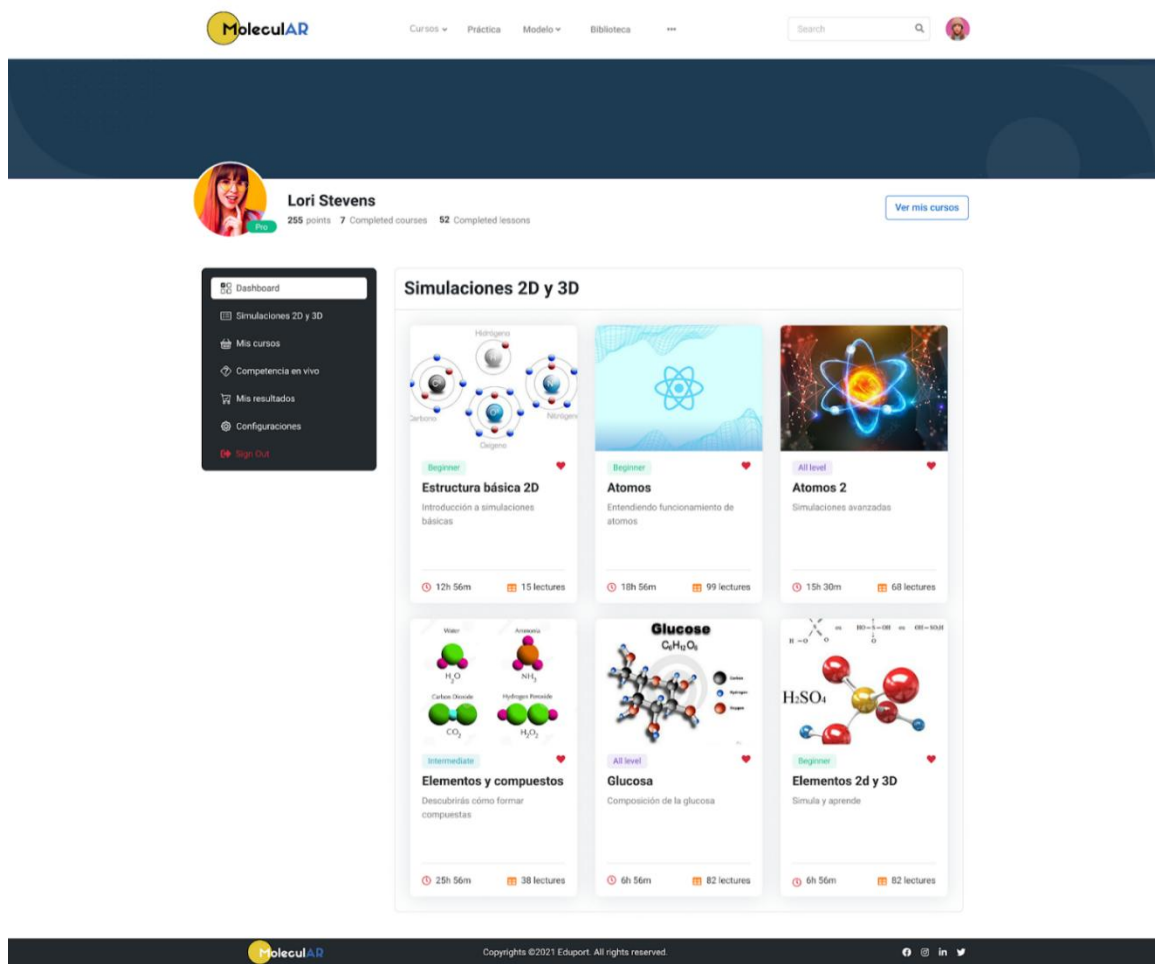
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 78. Prototipo de alta fidelidad Pantalla práctica simulación – Apéndice C



Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Figura 79. Prototipo de alta fidelidad Pantalla Biblioteca prácticas – Apéndice C



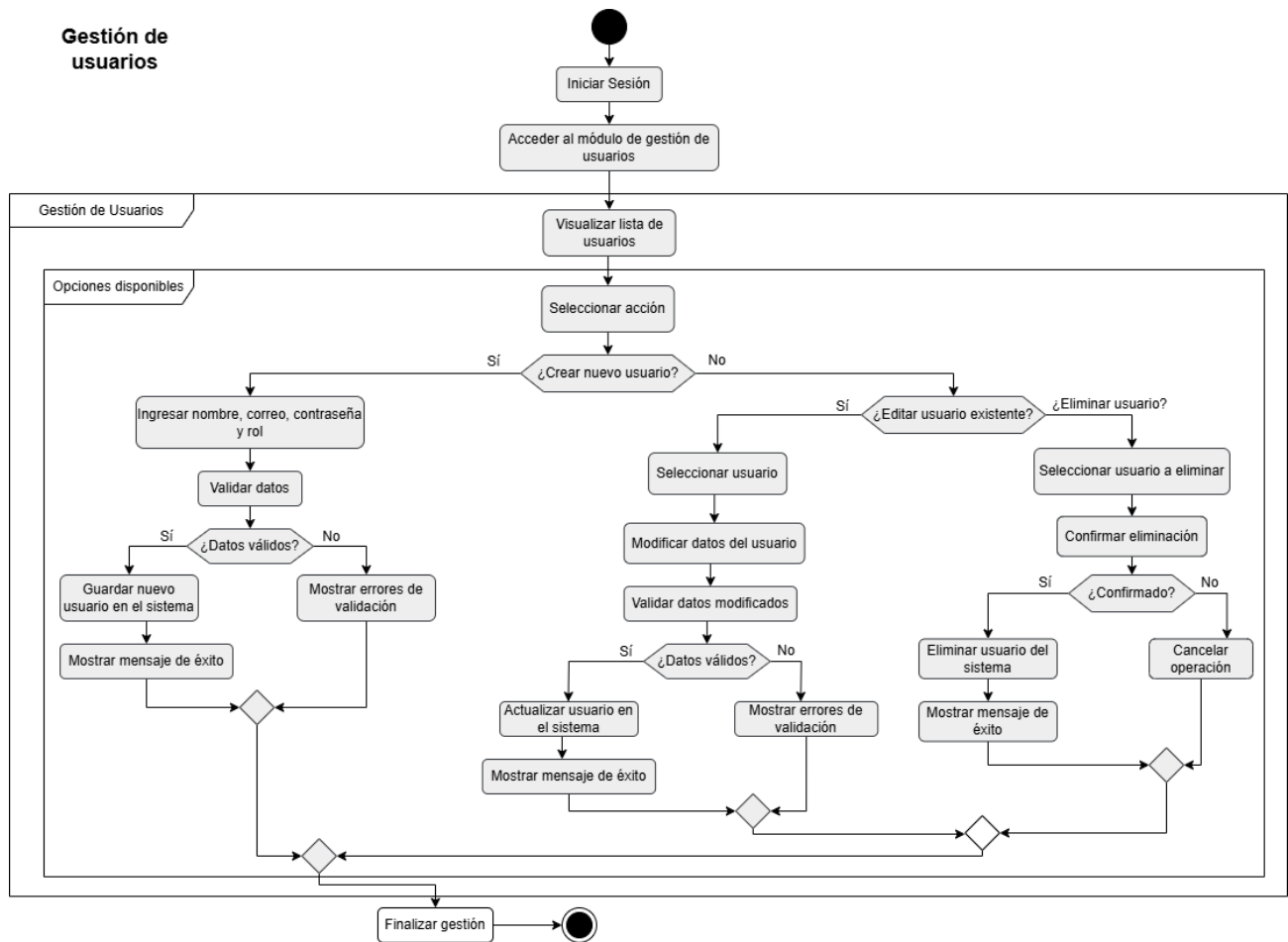
Fuente: Elaboración propia en Figma, 2025.

Apéndice D. Diagramas Complementarios

Diagramas adicionales del capítulo 2 sección 2.5

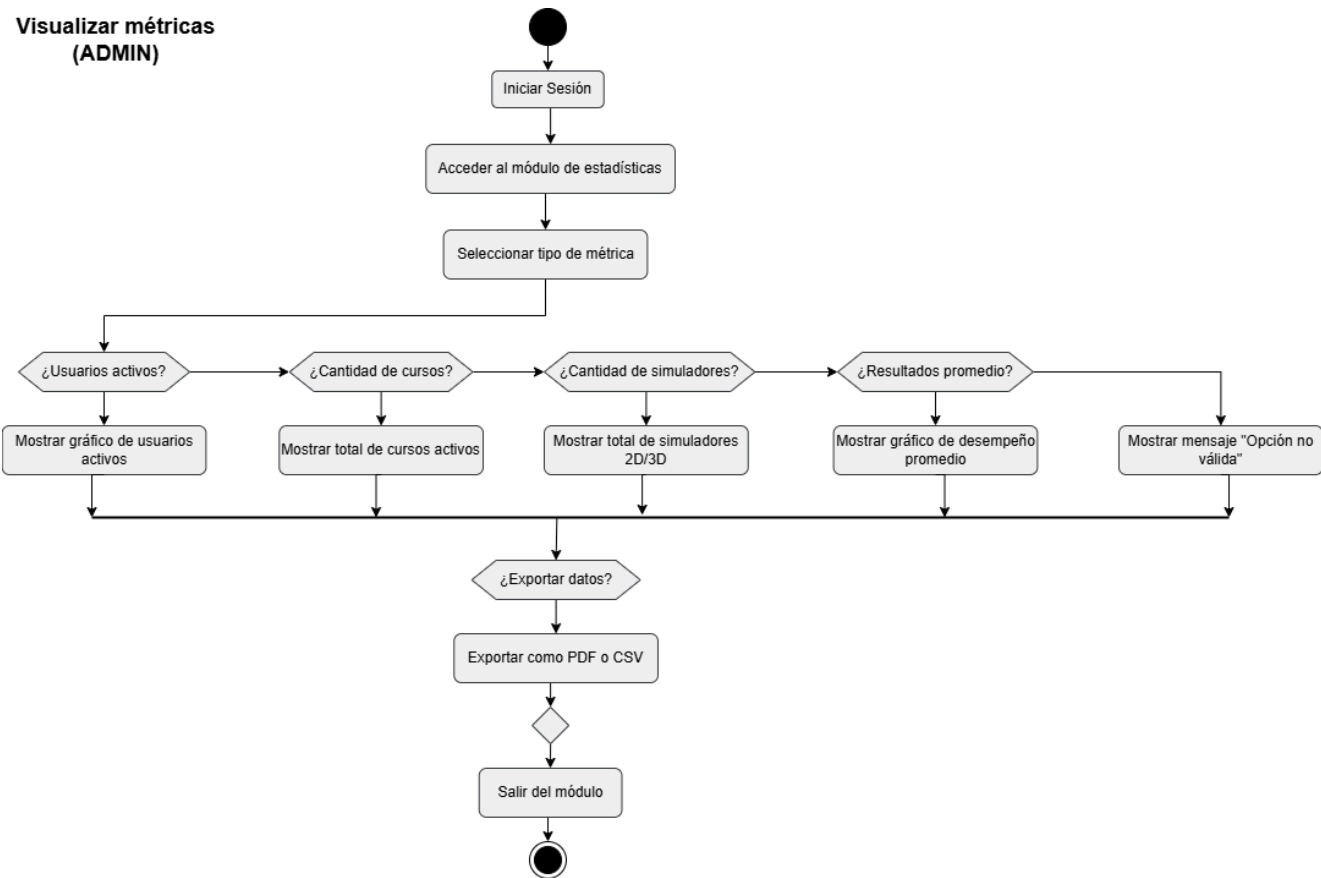
D.1 Diagramas de Actividad

Figura 80. Diagrama de actividad Gestión de usuarios – Apéndice D.1



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

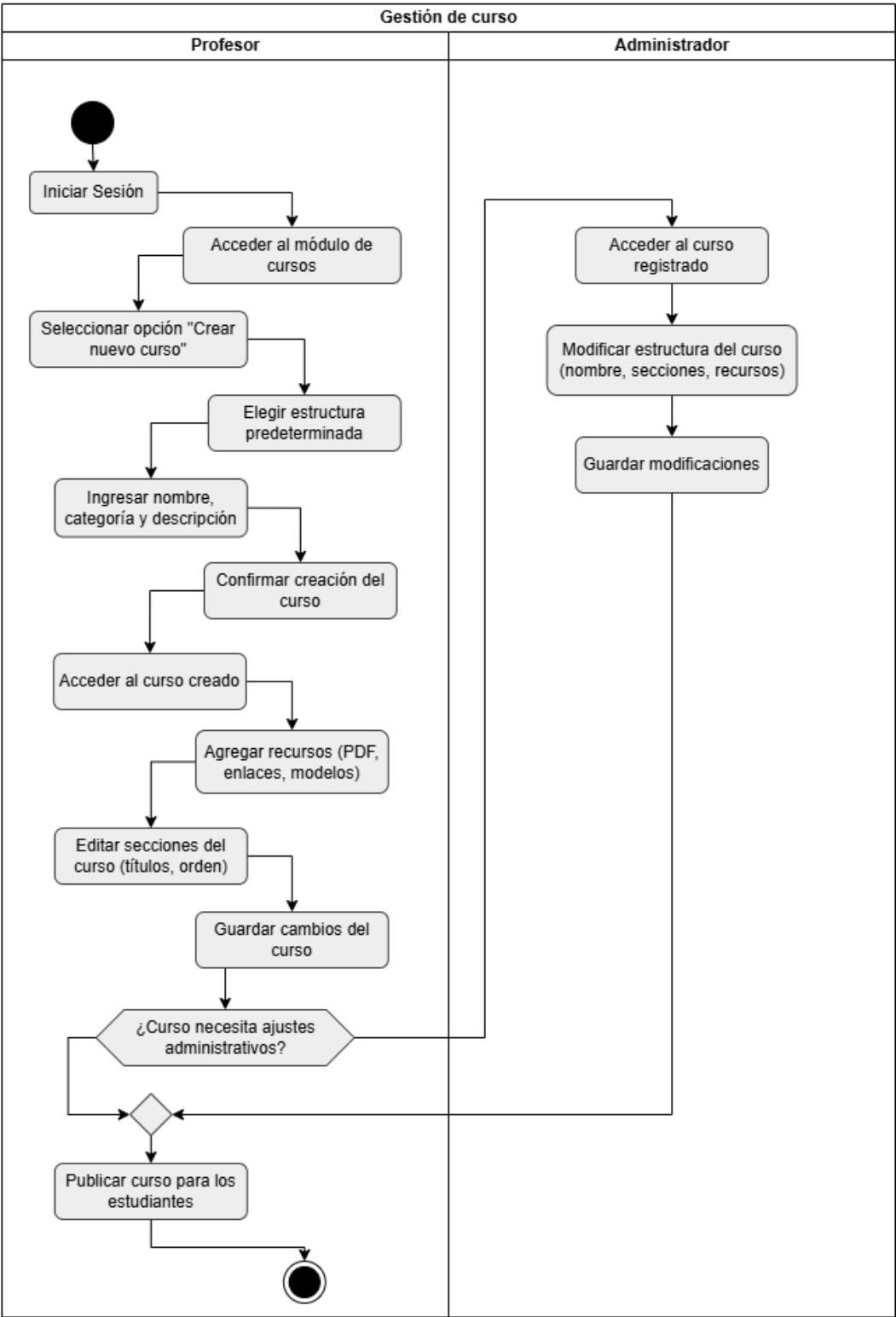
Figura 81. Diagrama de actividad Visualizar métricas Administrador – Apéndice D.1



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

Figura 82. Diagrama de actividad Gestión de curso – Apéndice D.1

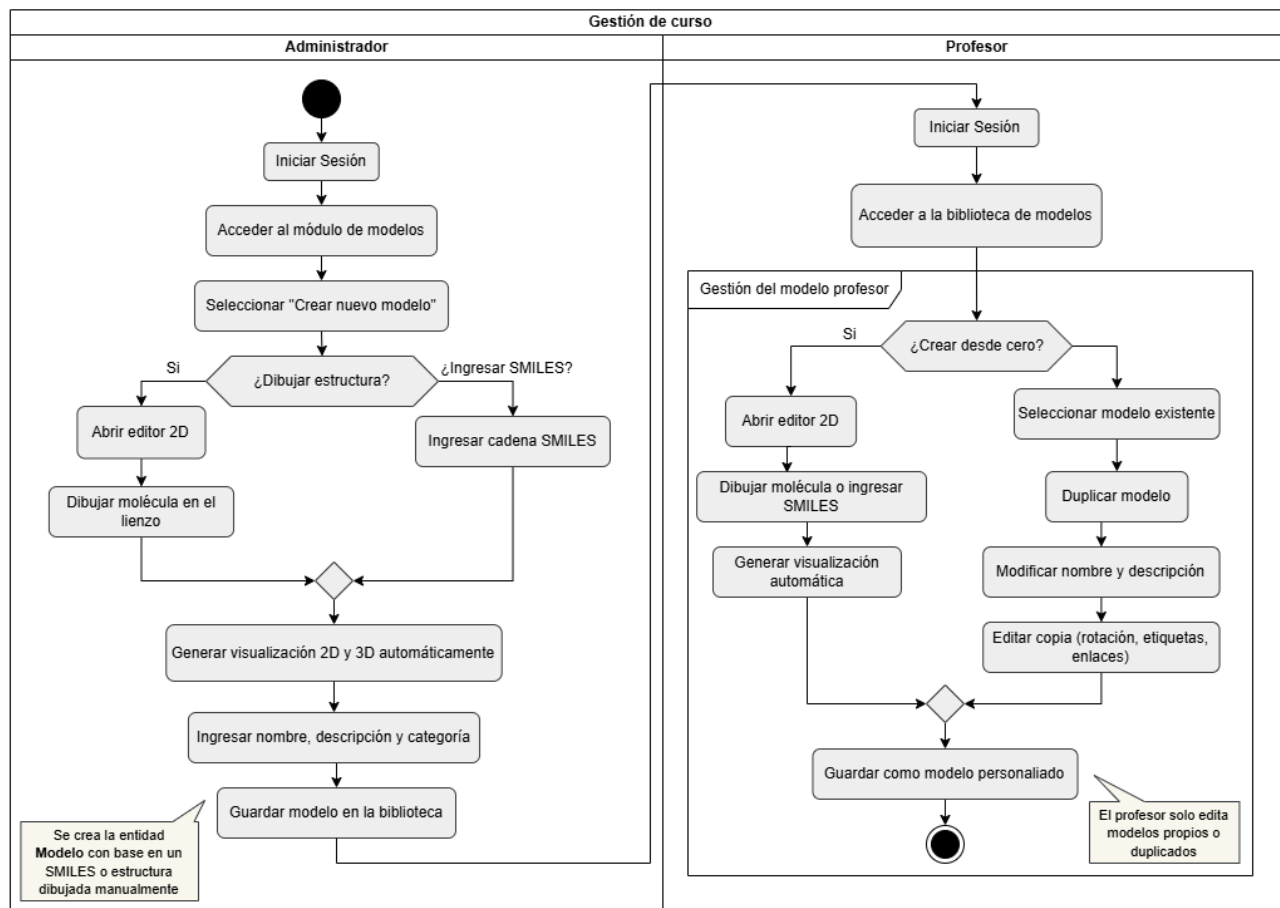
Gestión del curso



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

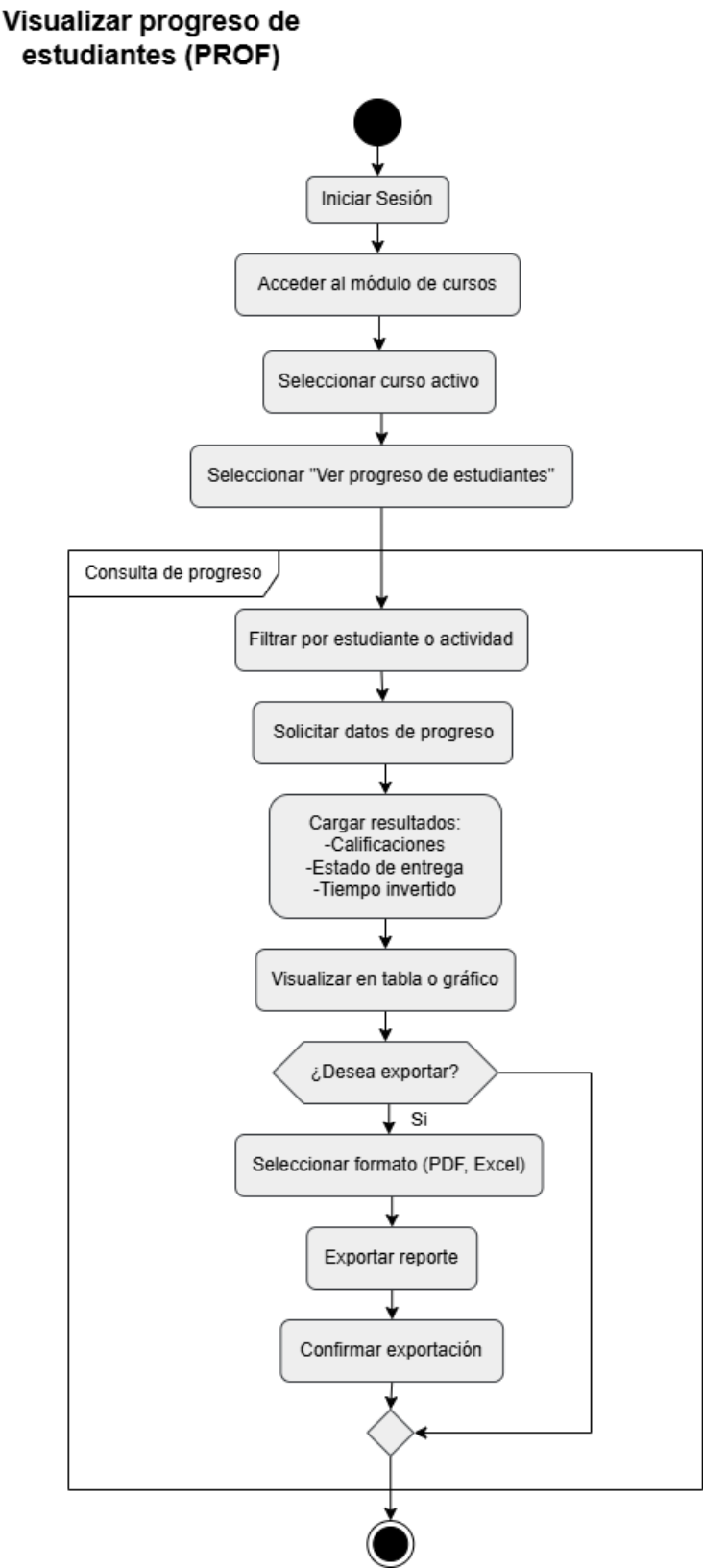
Figura 83. Diagrama de actividad Crear modelo 2D/3D – Apéndice D.1

Crear modelo 2D/3D



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

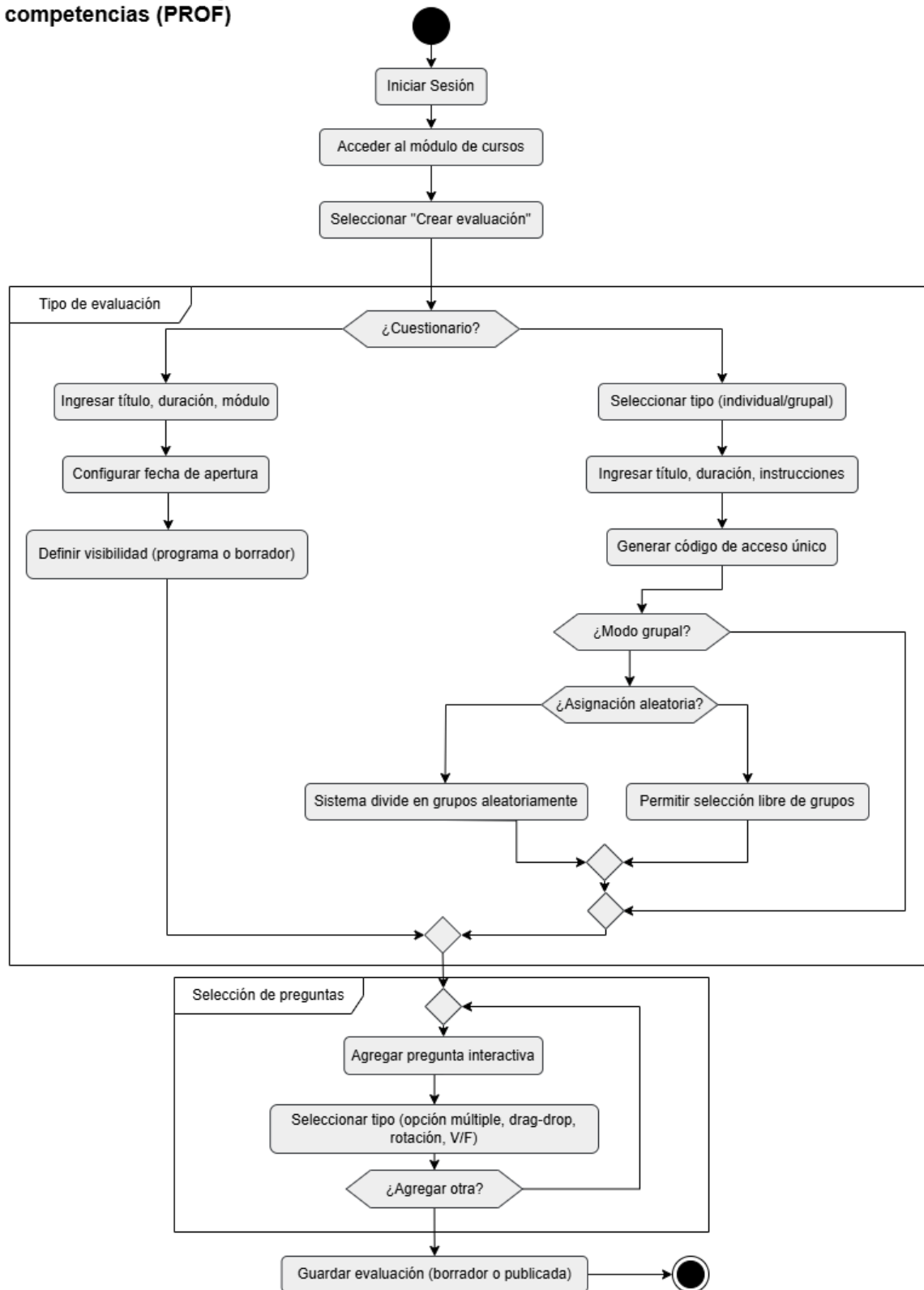
Figura 84. Diagrama de actividad Visualizar progreso de estudiantes – Apéndice D.1



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

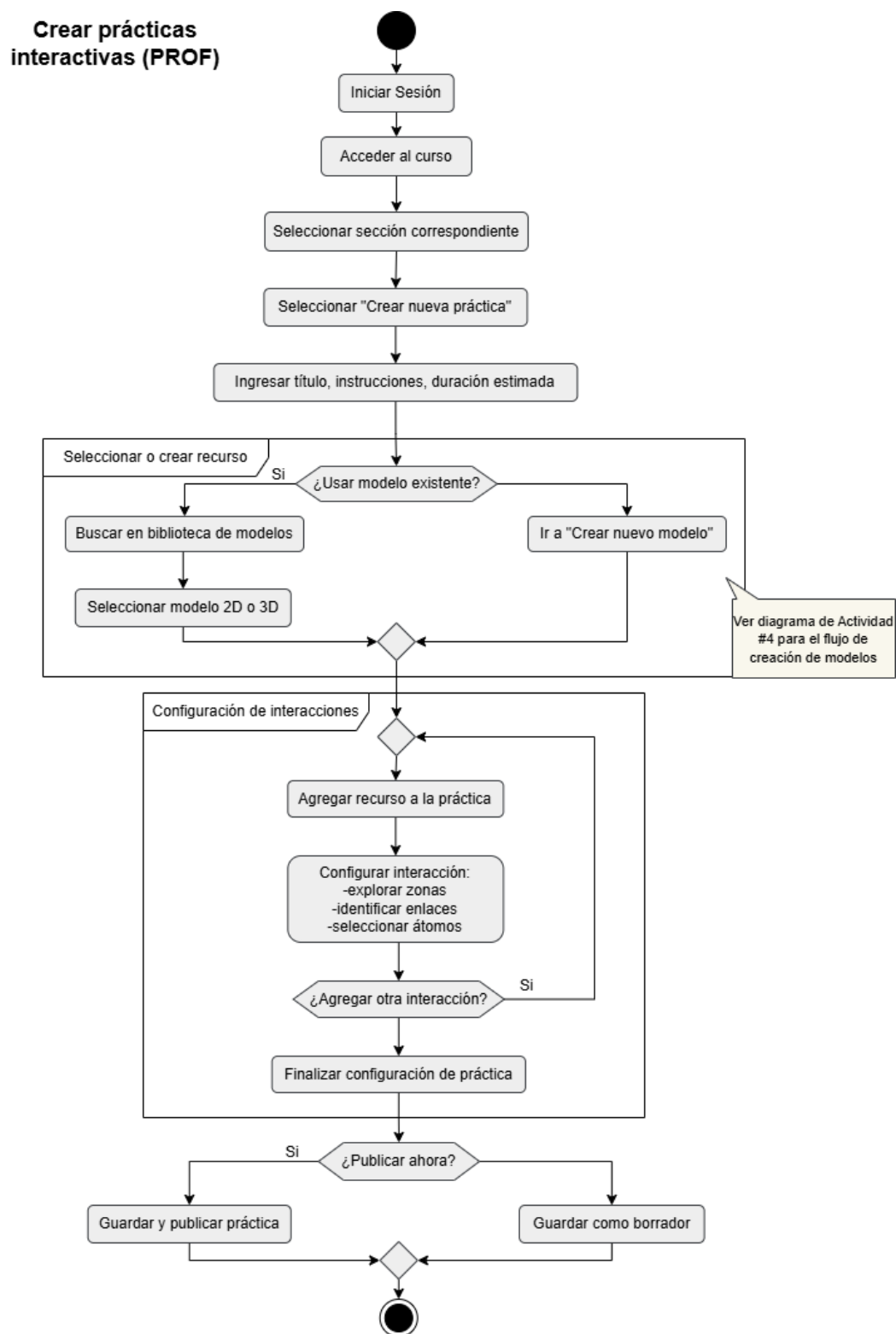
Figura 85. Diagrama de actividad Crear cuestionarios y competencias – Apéndice D.1

Crear cuestionarios y competencias (PROF)



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

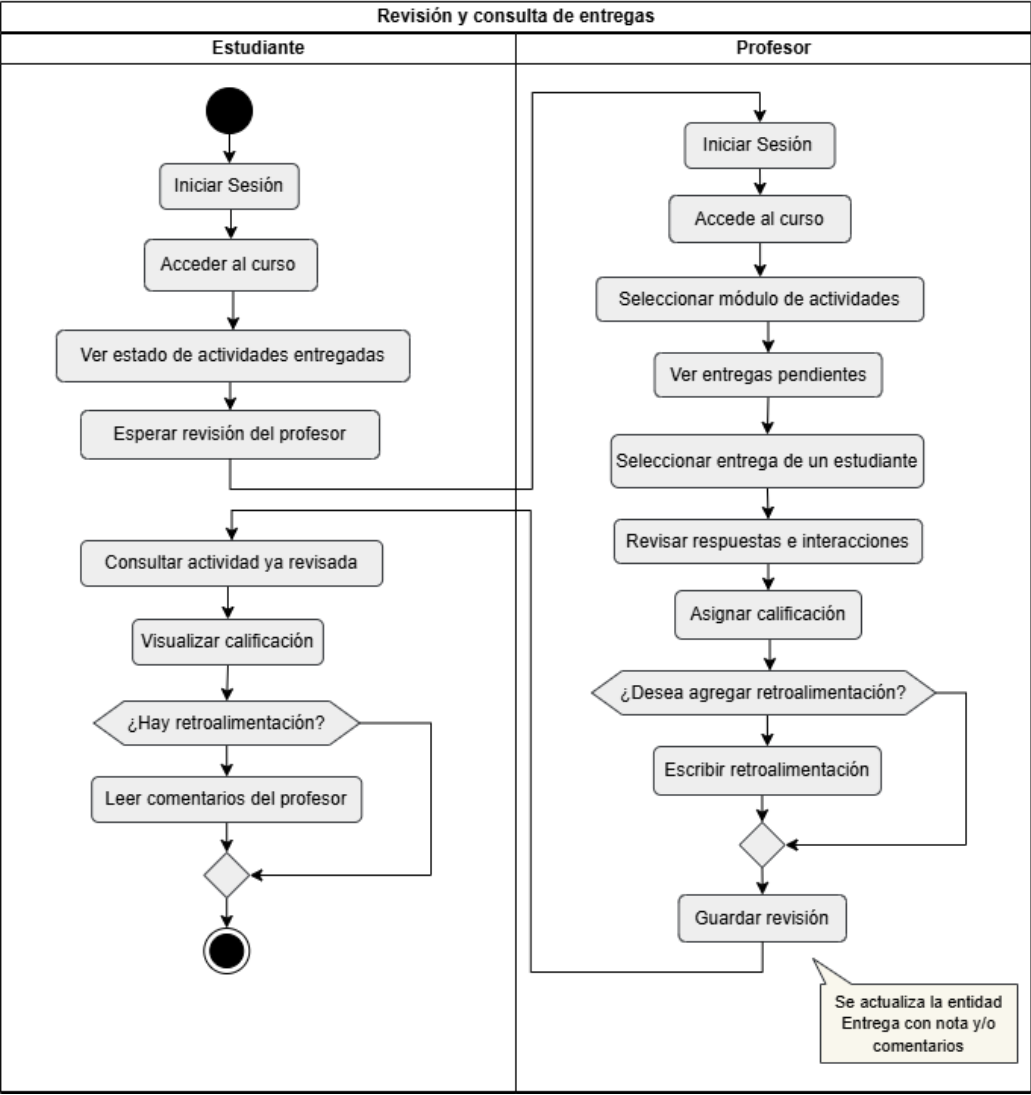
Figura 86. Diagrama de actividad Crear prácticas interactivas – Apéndice D.1



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

Figura 87. Diagrama de actividad Revisión y consulta de entregas – Apéndice D.1

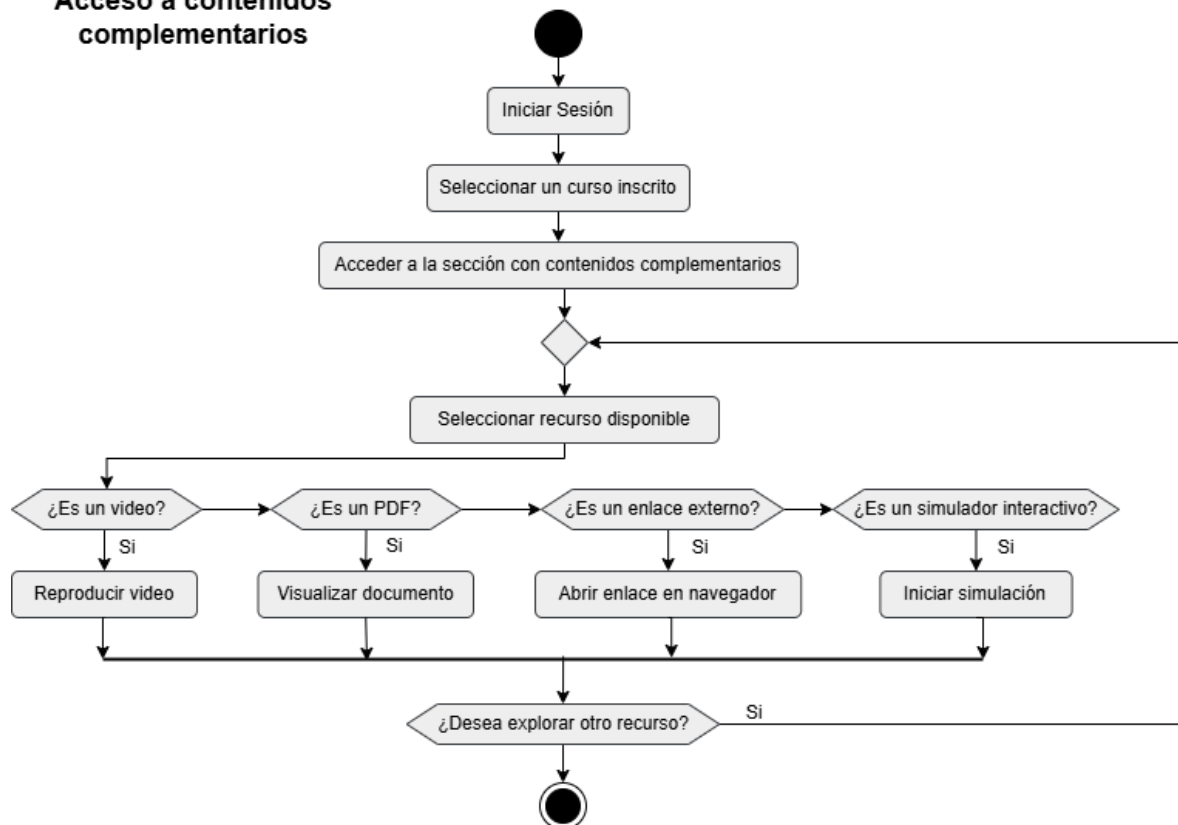
Revisión y consulta de entregas



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

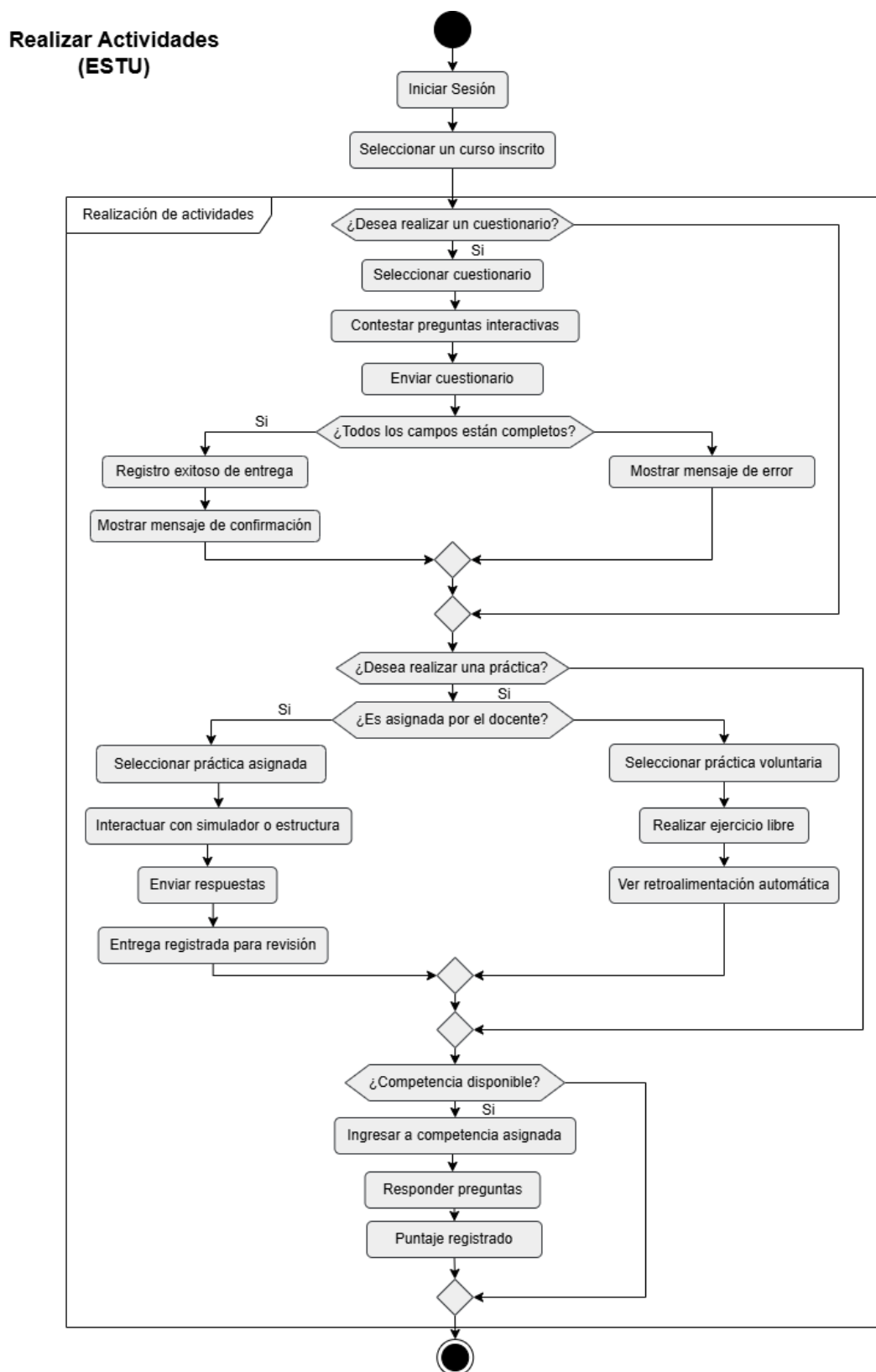
Figura 88. Diagrama de actividad Acceso a contenidos complementarios – Apéndice D.1

Acceso a contenidos complementarios



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

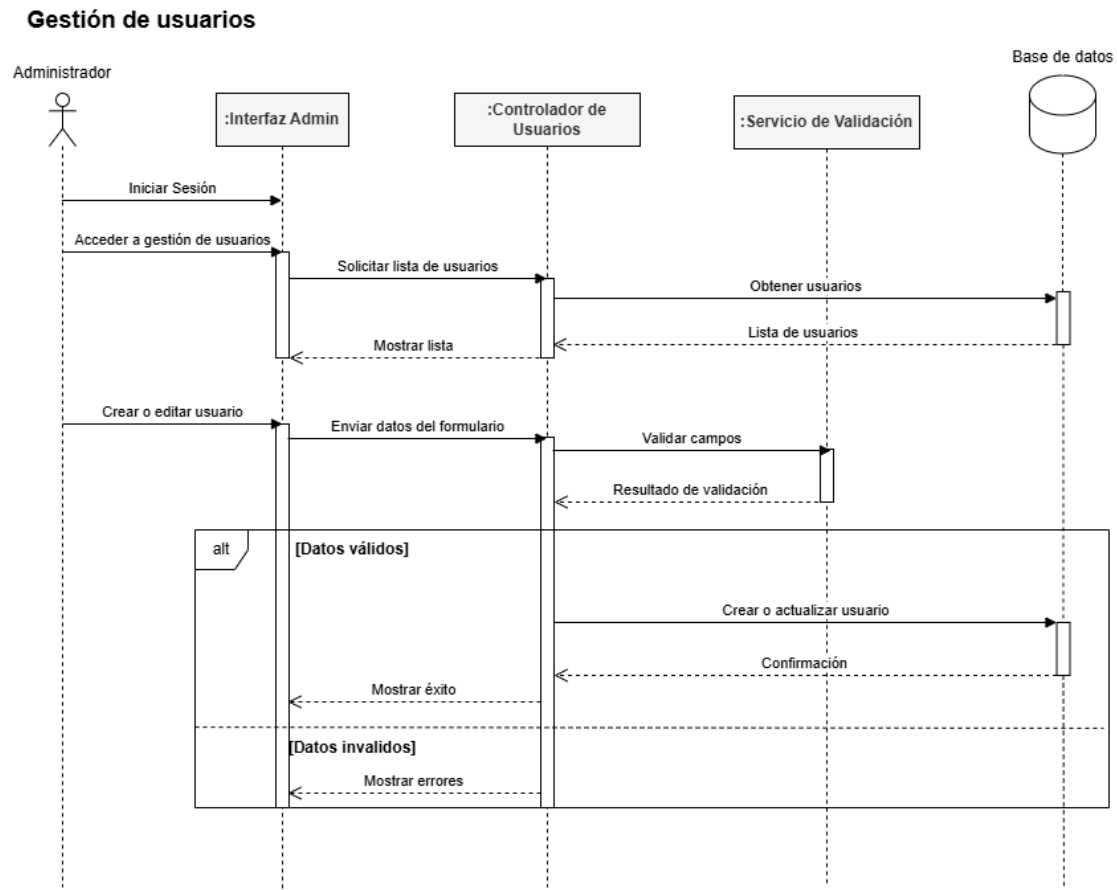
Figura 89. Diagrama de actividad Realizar Actividades Estudiante – Apéndice D.1



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

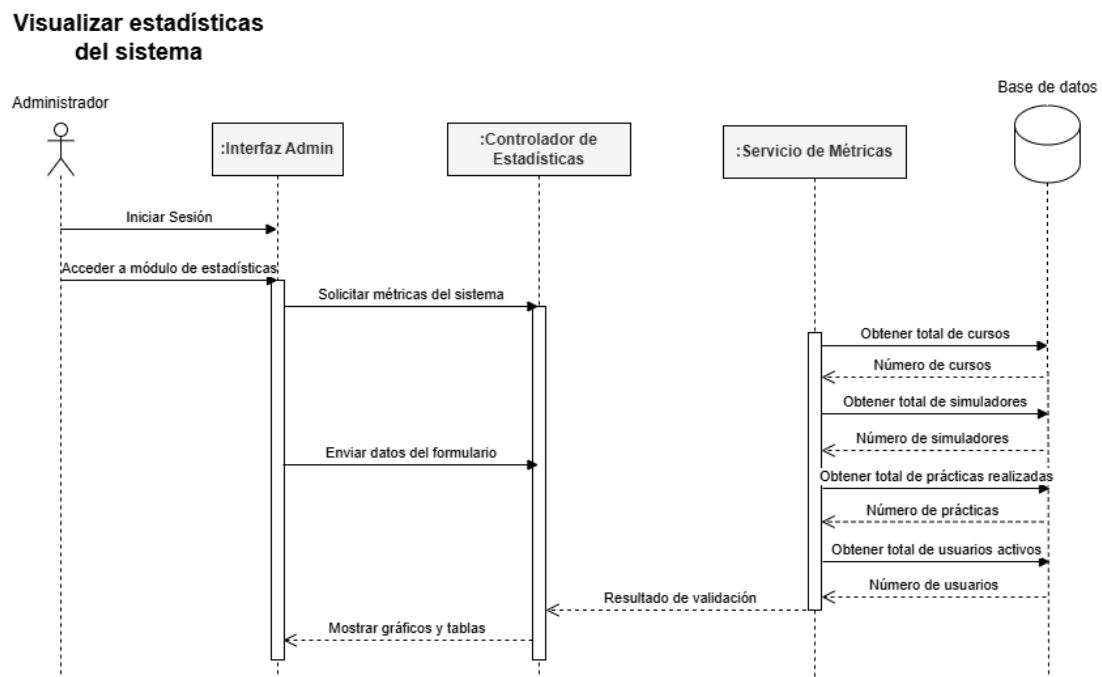
D.2 Diagramas de Secuencia

Figura 90. Diagrama de secuencia Gestión de usuarios – Apéndice D.2



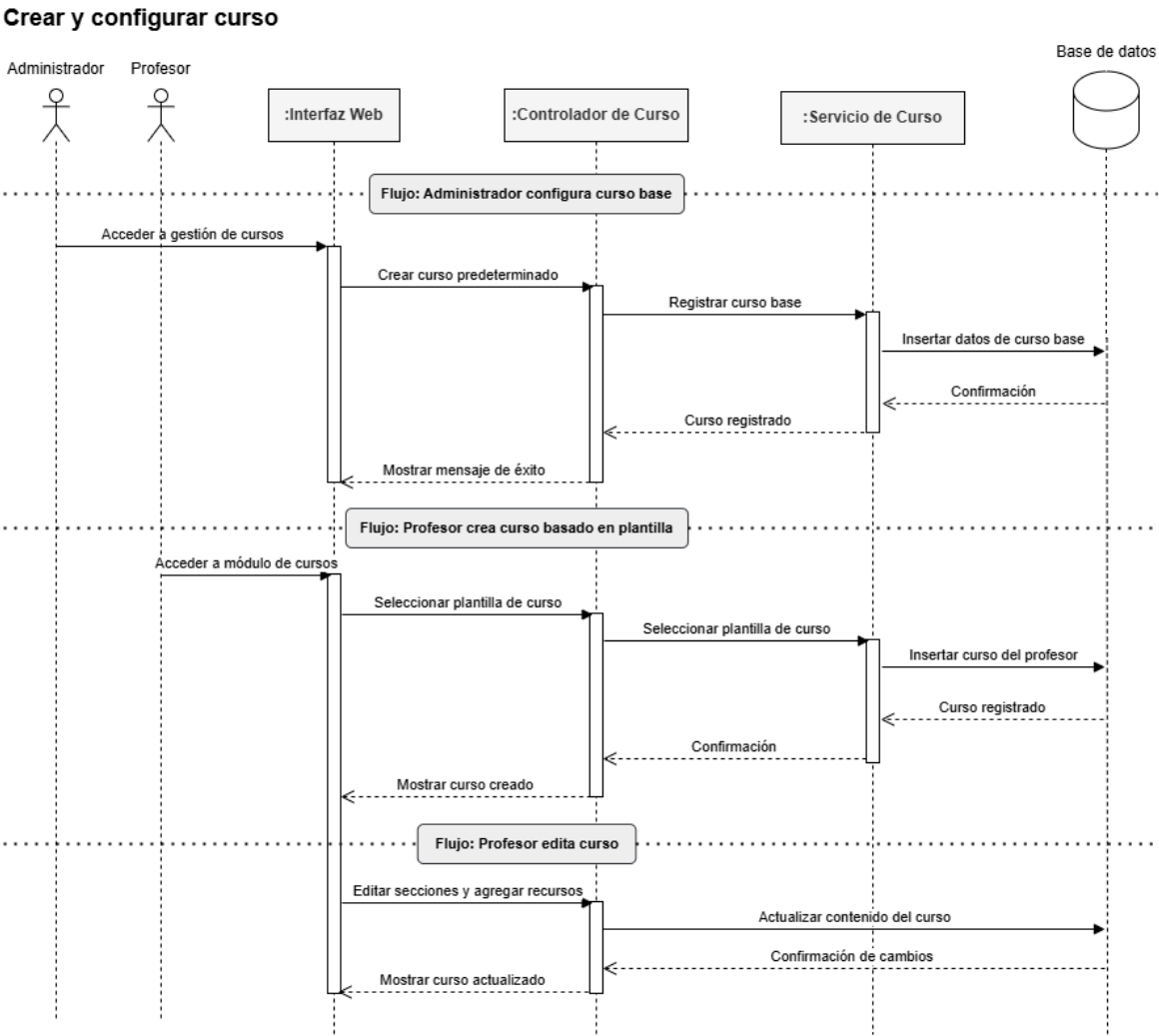
Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

Figura 91. Diagrama de secuencia Visualizar estadísticas del sistema – Apéndice D.2



Fuente: Elaboración propia con *diagrams.net*, 2025.

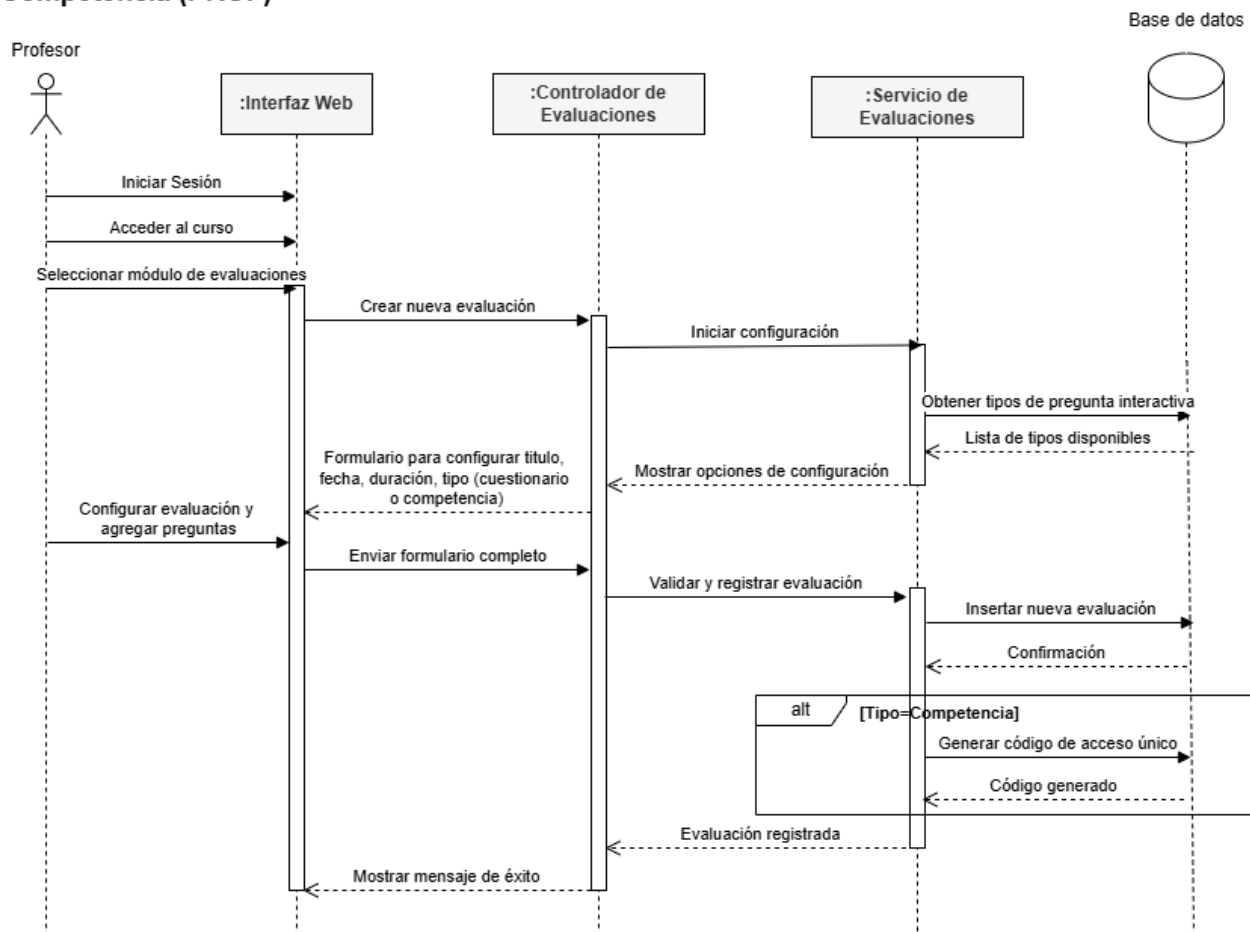
Figura 92. Diagrama de secuencia Crear y configurar curso – Apéndice D.2



Fuente: Elaboración propia con *diagrams.net*, 2025.

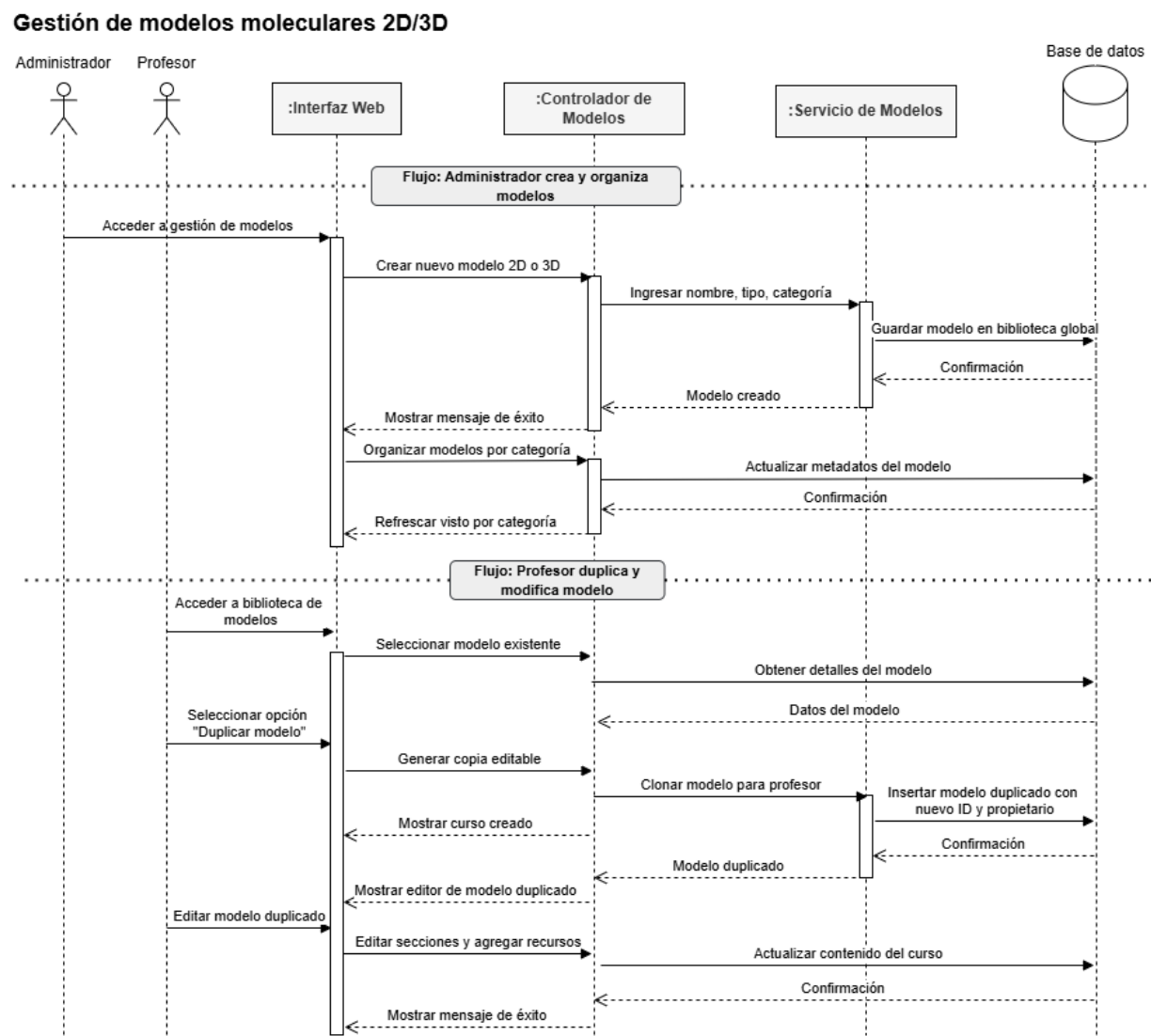
Figura 93. Diagrama de secuencia Crear Cuestionario o Competencia – Apéndice D.2

Crear Cuestionario o Competencia (PROF)



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

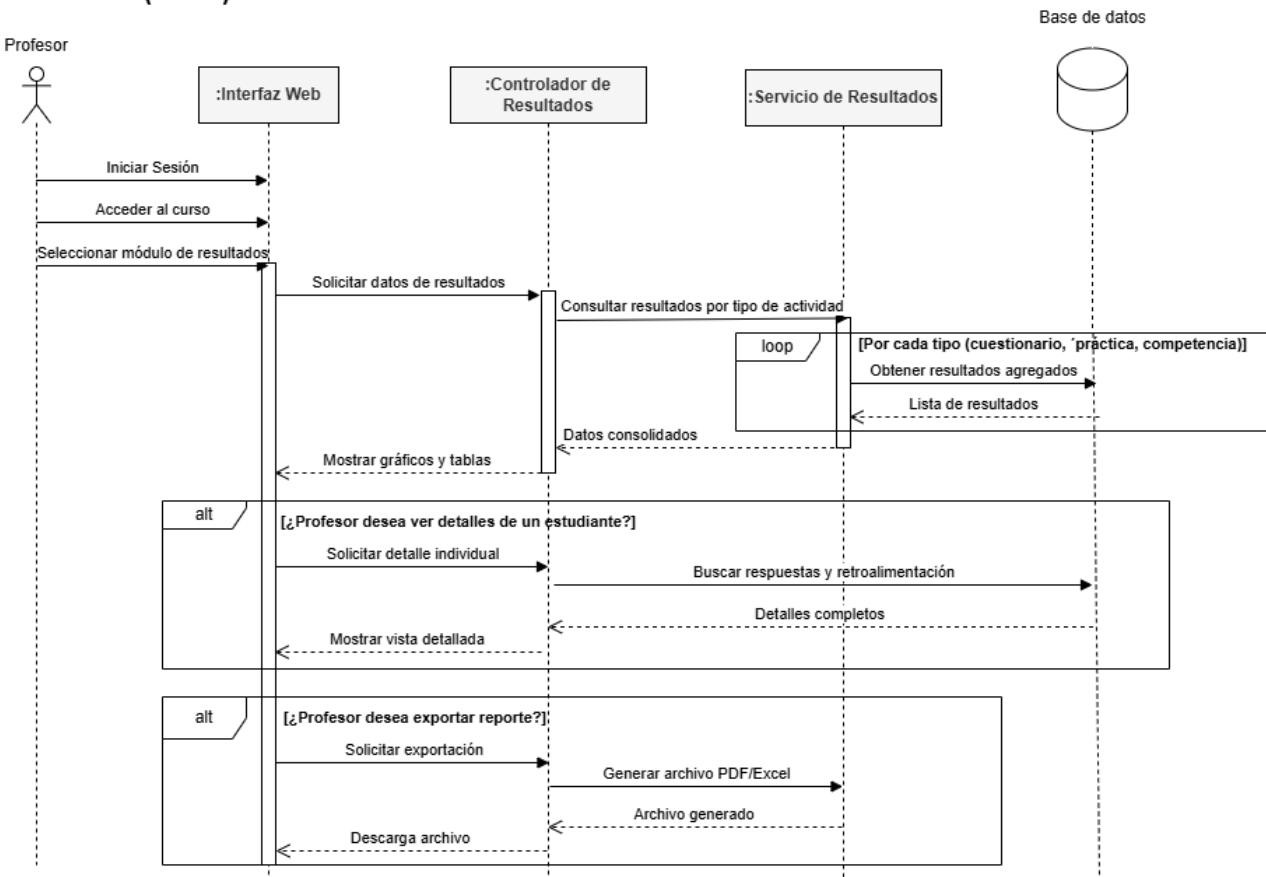
Figura 94. Diagrama de secuencia Gestión de modelos moleculares 2D/3D – Apéndice D.2



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

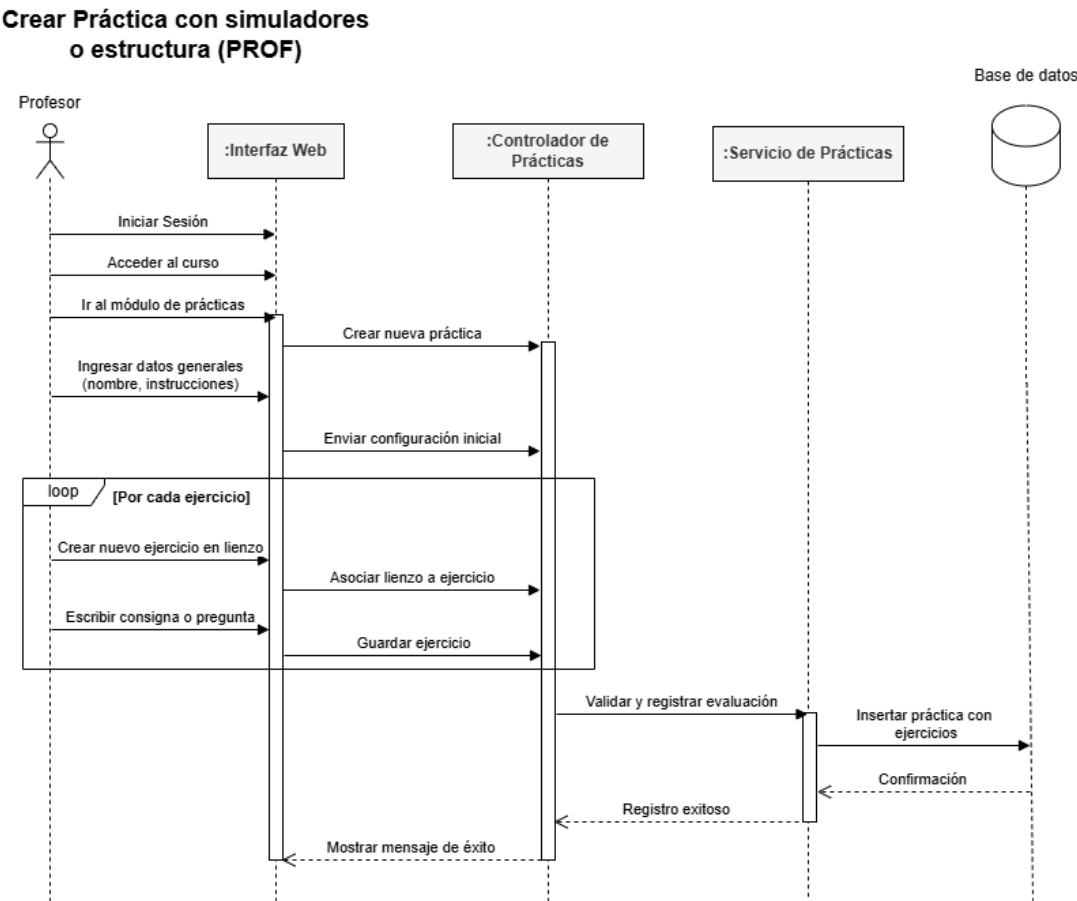
Figura 95. Diagrama de secuencia Visualización de resultados – Apéndice D.2

Visualización de resultados (PROF)



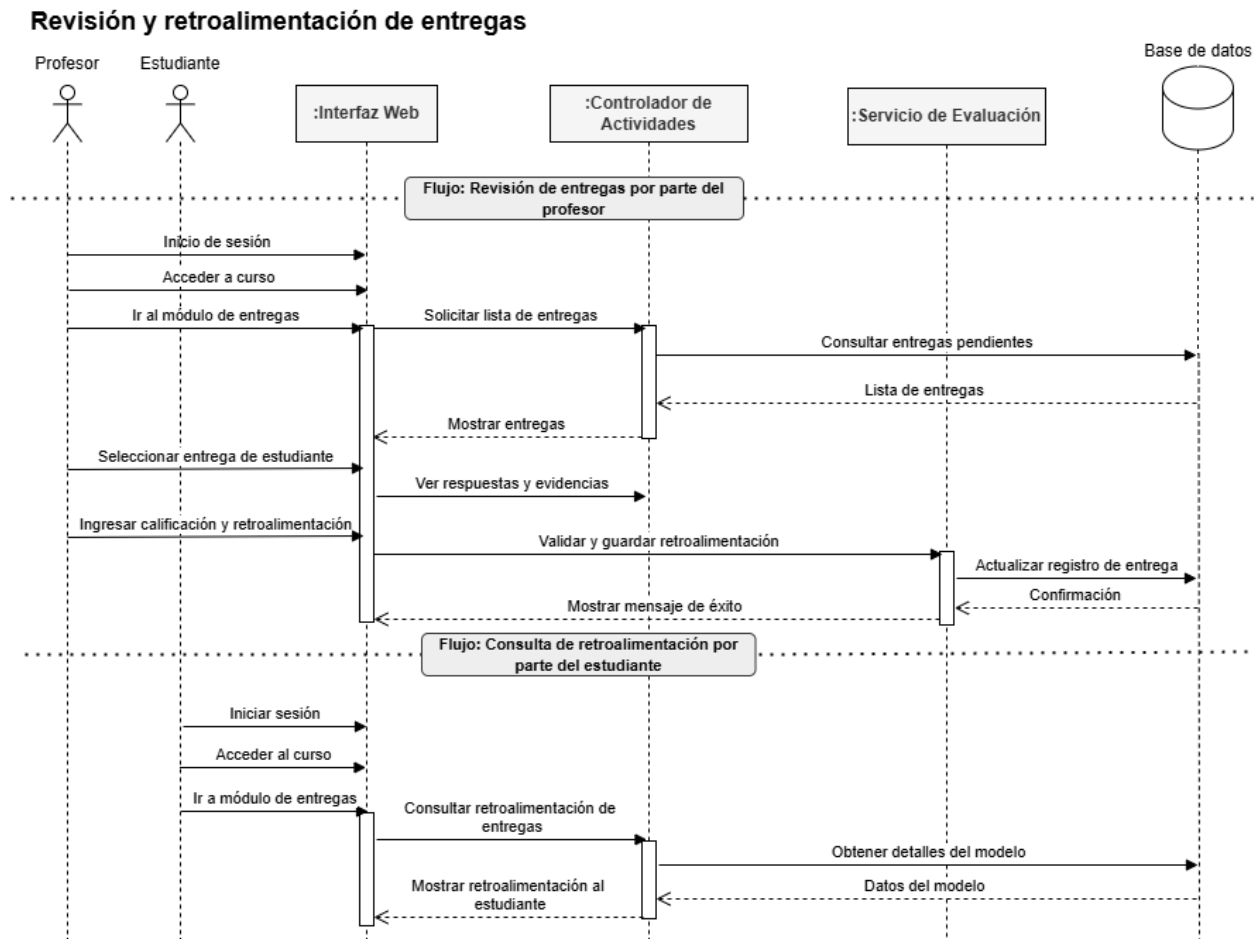
Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

Figura 96. Diagrama de secuencia Crear práctica con simuladores o estructura – Apéndice D.2



Fuente: Elaboración propia con *diagrams.net*, 2025.

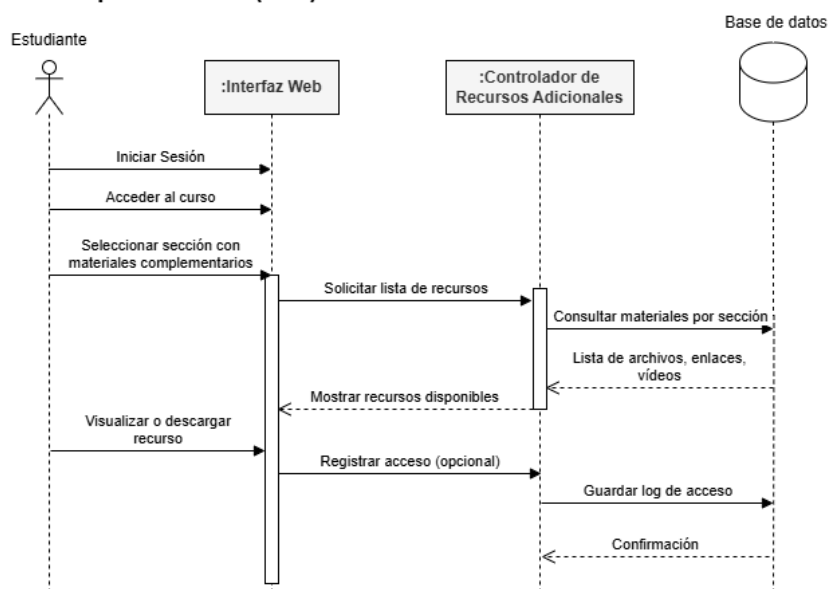
Figura 97. Diagrama de secuencia Revisión y retroalimentación de entregas – Apéndice D.2



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

Figura 98. Diagrama de secuencia Acceso a materiales complementarios – Apéndice D.2

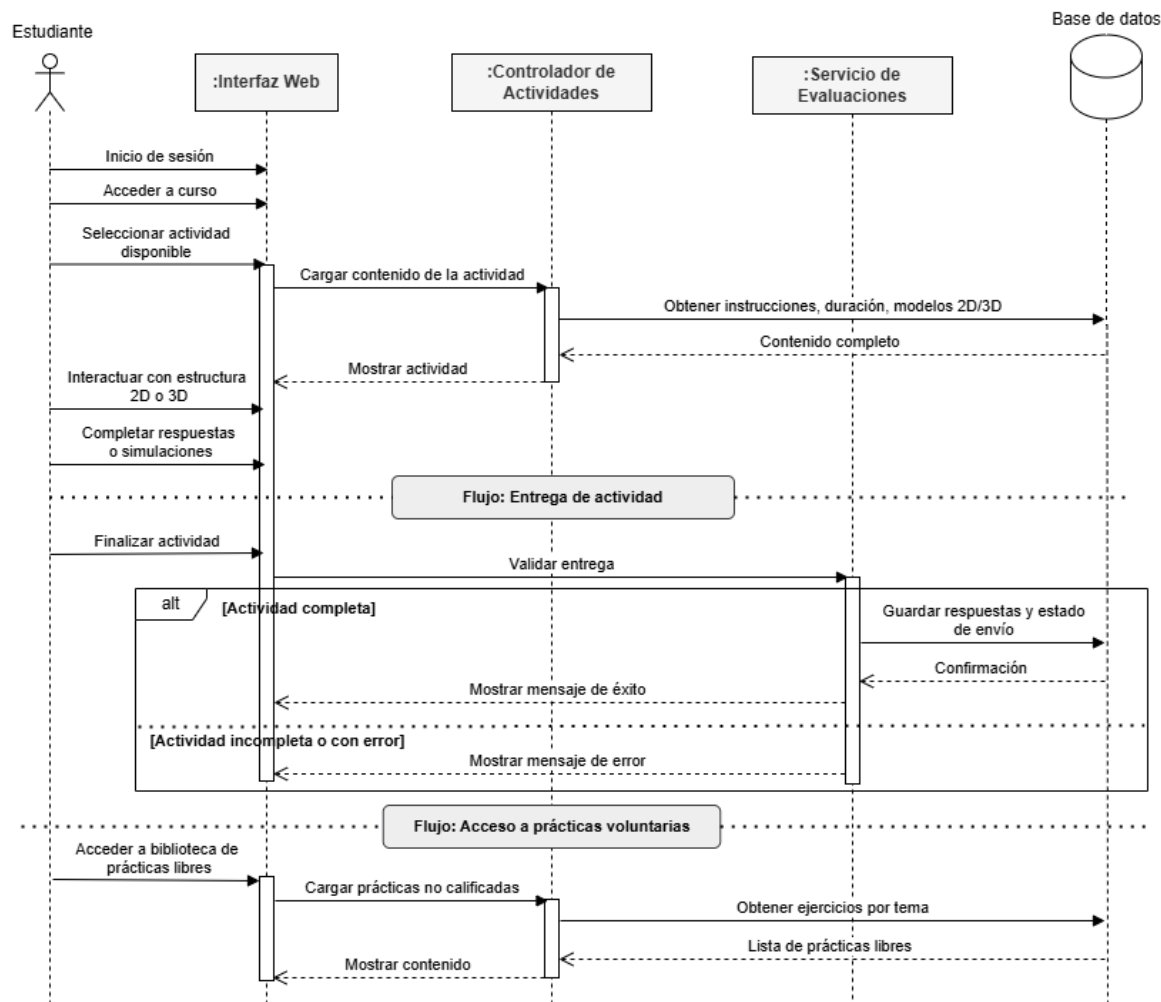
Acceso a materiales complementarios (EST)



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

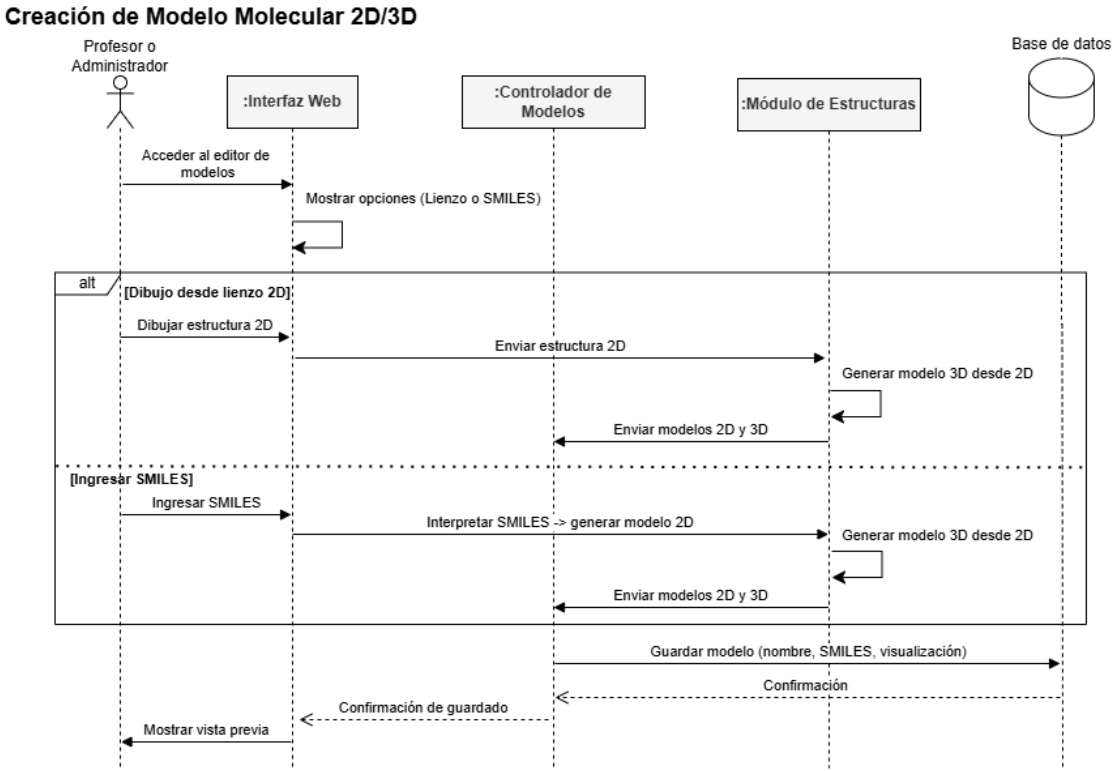
Figura 99. Diagrama de secuencia Realización y entrega de actividades – Apéndice D.2

Realización y entrega de actividades (EST)



Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

Figura 100. Diagrama de secuencia Creación de Modelo Molecular 2D/3D – Apéndice D.2

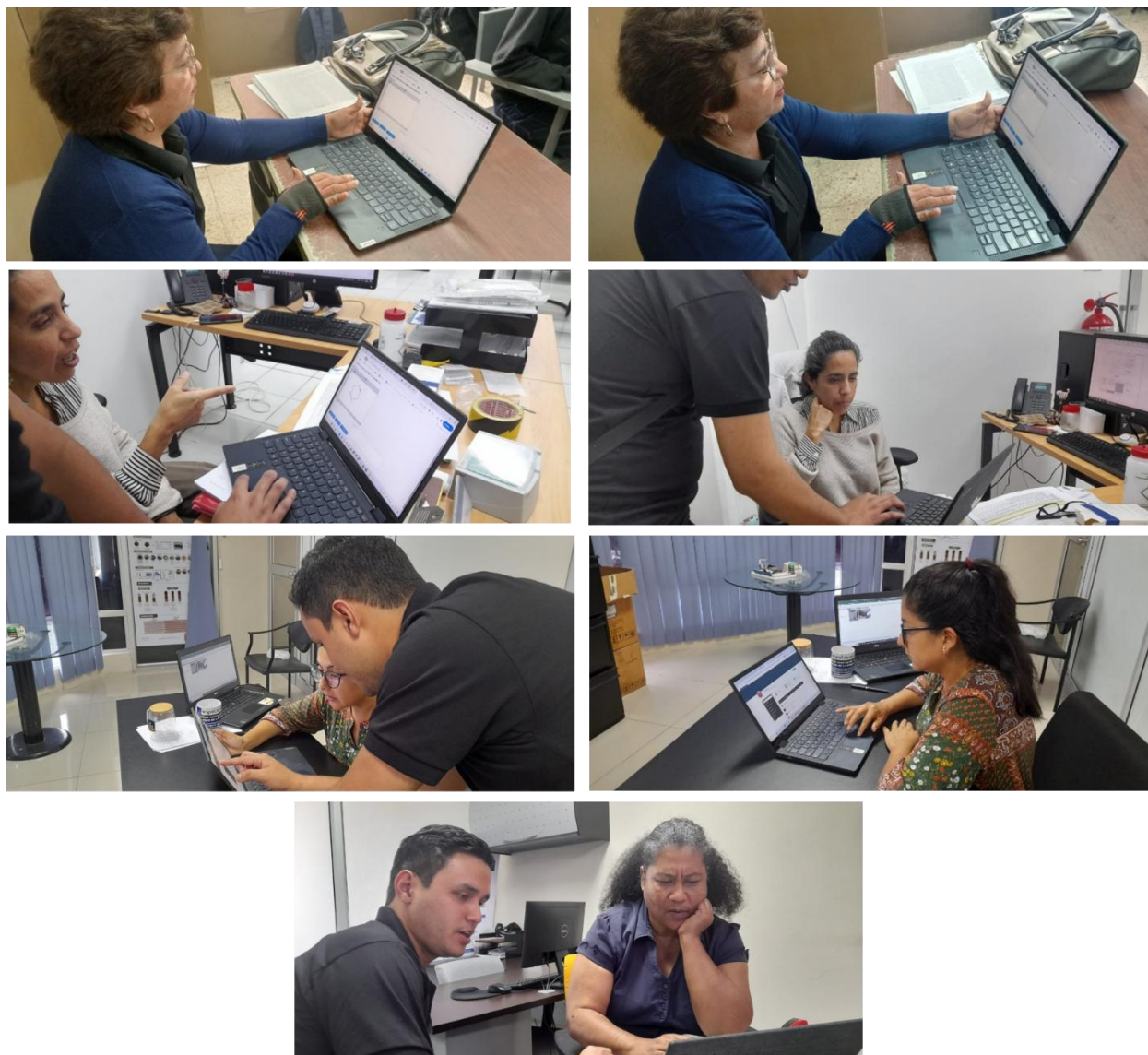


Fuente: Elaboración propia con diagrams.net, 2025.

Apéndice E. Evidencias de evaluación de prototipo

E.1 Pruebas con docentes (Primera etapa)

Figura 101. Evidencias Pruebas de usuario con docentes (Prototipo de alta fidelidad) – Apéndice E.1



Fuente: Registro fotográfico propio durante las pruebas de usuario con docentes, 2025.

E.2 Pruebas con estudiantes (Segunda etapa)

Figura 102. Evidencias Pruebas de usuario con estudiantes (Prototipo de alta fidelidad) – Apéndice E.2



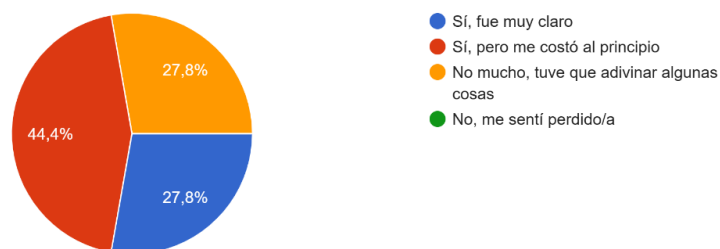
Fuente: Registro fotográfico propio durante las pruebas de usuario con estudiantes, 2025.

E.3 Resultados de la encuesta (Google forms)

Estudiantes

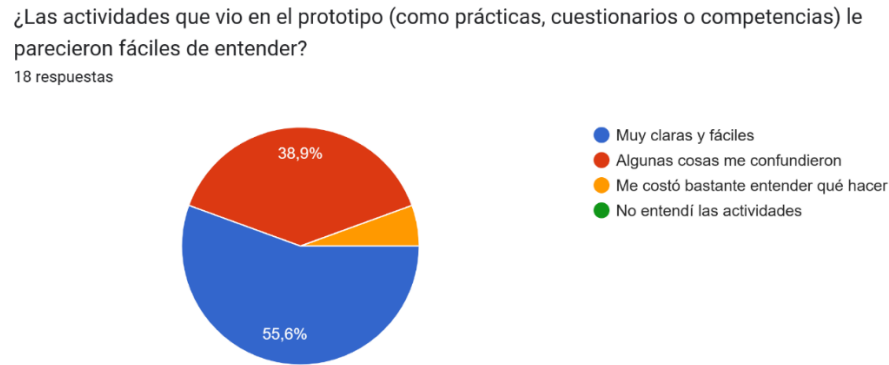
Figura 103. Resultados Encuesta de prototipo Estudiantes (Pregunta 1) – Apéndice E.3

¿Comprendió fácilmente cómo navegar entre las distintas secciones del prototipo?
18 respuestas



Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a estudiantes, 2025.

Figura 104. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 2) – Apéndice E.3



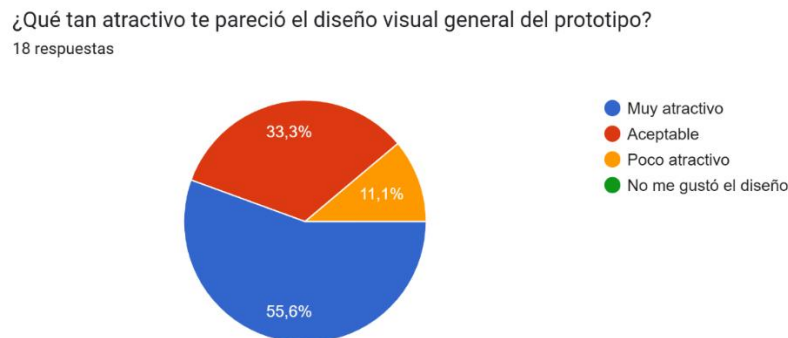
Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a estudiantes, 2025.

Figura 105. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 3) – Apéndice E.3



Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a estudiantes, 2025.

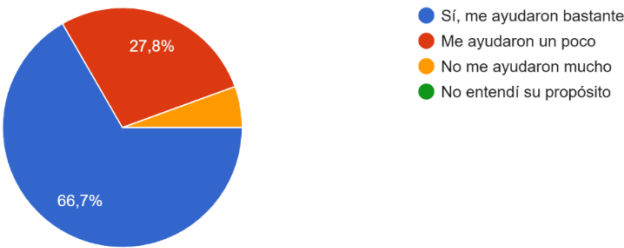
Figura 106. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 4) – Apéndice E.3



Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a estudiantes, 2025.

Figura 107. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 5) – Apéndice E.3

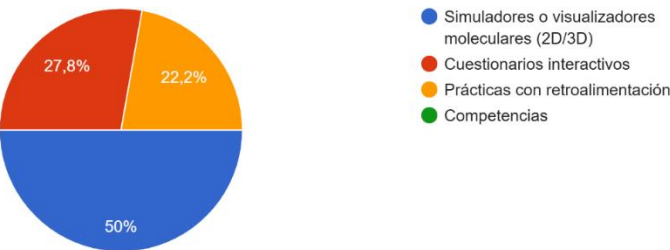
¿Las visualizaciones 2D o 3D que aparecen en el prototipo te ayudaron a comprender mejor los contenidos que podrás aprender dentro del sitio?
18 respuestas



Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a estudiantes, 2025.

Figura 108. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 6) – Apéndice E.3

¿Cuál de estas funcionalidades le pareció más útil o interesante en el prototipo?
18 respuestas



Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a estudiantes, 2025.

Figura 109. Resultados Encuesta prototipo Estudiantes (pregunta 7) – Apéndice E.3

¿Qué mejoraría o cambiaría del prototipo?
18 respuestas

a mi me gustó bastante la idea la verdad
un diseño más científico talvez, colores más oscuros
deberia ser mas intuitivo y seguir una linealidad, tipo si vas a empezar a estudiar una materia, deberia ir poco a poco para entender
colores y diseño
tiene muchas opciones, uno se puede perder facilmente
nada, todo nice
Me parece que deben estar mejor ordenados cada sección de la plataforma
Estaría interesante que los modelos 3D también sean interactivos, para poder apreciar las distintas moléculas con más detalle.

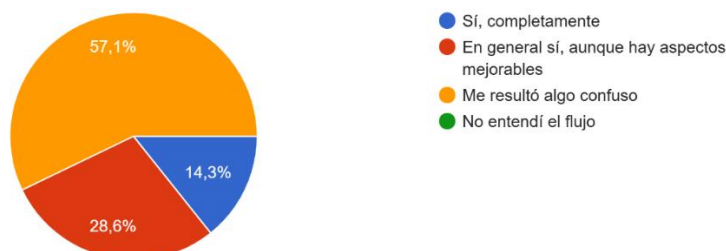
Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a estudiantes, 2025.

Docentes

Figura 110. Resultados Encuesta prototipo Docentes (pregunta 1) – Apéndice E.3

¿El flujo general del prototipo le pareció lógico y fácil de seguir?

7 respuestas



Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a docentes, 2025.

Figura 111. Resultados Encuesta prototipo Docentes (pregunta 2) – Apéndice E.3

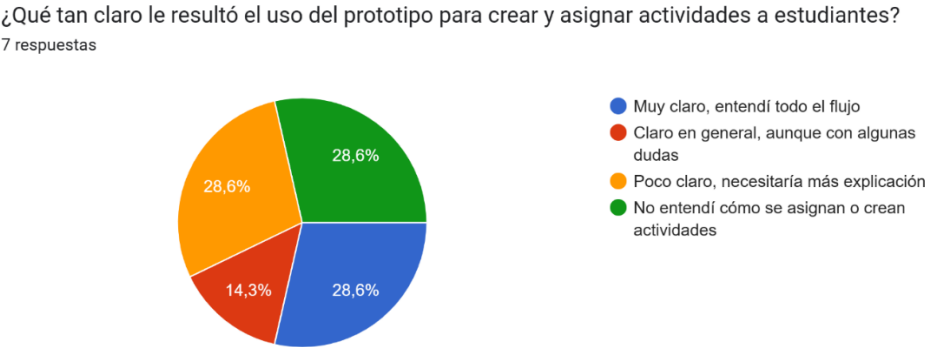
¿Las funcionalidades representadas en el prototipo (crear cursos, prácticas, simuladores, etc.) le resultan relevantes para su rol docente o administrativo?

7 respuestas



Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a docentes, 2025.

Figura 112. Resultados Encuesta prototipo Docentes (pregunta 3) – Apéndice E.3



Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a docentes, 2025.

Figura 113. Resultados Encuesta prototipo Docentes (pregunta 4) – Apéndice E.3



Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a docentes, 2025.

Figura 114. Resultados Encuesta prototipo Docente (pregunta 5) – Apéndice E.3



Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a docentes, 2025.

Figura 115. Resultados Encuesta prototipo Docentes (pregunta 6) – Apéndice E.3

¿Qué sugerencias daría para mejorar el prototipo antes del desarrollo completo?

7 respuestas

Poder hacer más interactivos los modelos 3D como lo son en 2D
Mejorar interfaz y colocar señalizaciones para saber como hacer el flujo de informacion no se entiende que se hace
No entendí el prototipo, tal vez los estudiantes que saben más de esto pudieran hacerlo mejor. Me quedé trabada de como dibujar la molécula de glicerina. era frustrante no saber por donde empezar. Para alguien que nunca ha hecho este tipo de simulaciones es difícil.
Podrían hacer que la ventana y letras sean más grande
Que se genere un tutorial en don de se explique todas las funcionalidades del prototipo esto permitirá que su uso sea ágil y viable
Dónde dice flow 1,2,etc, poner el nombre de a dónde me va a dirigir. Las letras está muy pequeñas. Creo que la validación debe ir acompañada de una explicación ara ir explorando el sitio.

Fuente: Resultados generados por Google Forms a partir de la encuesta a docentes, 2025.

Apéndice F. Evidencias de pruebas de usuario (plataforma desplegada)

Figura 116. Evidencias Pruebas de usuario (Plataforma desplegada) – Apéndice F



Fuente: Registro fotográfico propio durante las pruebas de usuario general, 2025.

Apéndice G. Configuración y datos de la encuesta Hotjar

G.1 Cuestionario completo de encuesta integrada

Figura 117. Configuración Encuesta emergente en Hotjar – Apéndice G.1

8 Resumen

Evaluación Interactiva de MolecularAR

Esta encuesta busca conocer la experiencia de los usuarios mientras interactúan con la plataforma educativa MolecularAR. La información recolectada servirá para mejorar el diseño, la usabilidad y las funcionalidades de la plataforma desde la perspectiva de sus usuarios reales

7 preguntas

- ☐ ¿Qué probabilidades hay de que recomiendes MolecularAR a un compañero o docente?
- ☐ ¿Qué aspectos de MolecularAR te parecieron más útiles o interesantes?
- ☒ ¿La actividad o sección que estás viendo cumplió con tus expectativas en cuanto a claridad, interactividad y utilidad del contenido?
- ☒ ¿Qué aspecto de esta página crees que necesita mayor mejora?
- ☒ ¿Consideras que esta herramienta aporta valor al proceso de enseñanza-aprendizaje en comparación con los métodos tradicionales?
- ☒ ¿Tuviste algún problema técnico o de navegación mientras usabas la plataforma?
- ☐ ¿Cómo te sentiste al usar esta parte de la plataforma?

Focalización

- ☒ Se muestra en Ordenador, Tableta, Móvil
- ☐ Se muestra en Todas las páginas
- ☐ Se muestra en Todos los usuarios
- ☒ Se muestra en 100 % de todo el tráfico

Preview of the survey overlay:

¿Consideras que esta herramienta aporta valor al proceso de enseñanza-aprendizaje en comparación con los métodos tradicionales?

- ☐ Sí, veo que tiene mucho potencial educativo
- ☐ Posiblemente, con algunos ajustes
- ☐ No estoy seguro(a) aún
- ☐ No creo que aporte valor al aprendizaje
- ☐ No entendí bien esta sección

MolecularAR **Siguiente**

Fuente: Captura de configuración de encuesta emergente realizada en Hotjar, 2025.

Encuesta emergente cada pregunta (Perspectiva del usuario encuestado)

Figura 118. Encuesta emergente en Hotjar (1 de 2) – Apéndice G.1

Left Screenshot:

¿Qué probabilidades hay de que recomiendes MolecularAR a un compañero o docente?

☐ 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

No es probable Muy probable

MolecularAR **Siguiente**

Right Screenshot:

¿Qué aspectos de MolecularAR te parecieron más útiles o interesantes?

MolecularAR **Siguiente**

Fuente: Captura de preguntas de encuesta emergente en Hotjar, 2025.

Figura 119. Encuesta emergente en Hotjar (2 de 2) – Apéndice G.1

¿La actividad o sección que estás viendo cumplió con tus expectativas en cuanto a claridad, interactividad y utilidad del contenido?

☐ ☒ Sí, cumplió totalmente mis expectativas

☐ ⚠ Parcialmente, hubo aspectos que podrían mejorar

☐ ❌ No, no fue clara o no me resultó útil

MolecularAR

Siguiente

¿Qué aspecto de esta página crees que necesita mayor mejora?

☐ 🗑 Navegación (moverse entre secciones no es intuitivo)

☐ 🎨 Diseño visual (colores, tamaños, disposición)

☐ 📄 Claridad del contenido (textos confusos o poco informativos)

☐ 🛠 Interactividad (faltan elementos interactivos o no funcionan bien)

☐ ⚙ Velocidad de carga / rendimiento

☐ 📁 Organización de la información (está desordenada o mal jerarquizada)

¿Consideras que esta herramienta aporta valor al proceso de enseñanza-aprendizaje en comparación con los métodos tradicionales?

☐ 🧑 Sí, veo que tiene mucho potencial educativo

☐ 👍 Posiblemente, con algunos ajustes

☐ 😐 No estoy seguro(a) aún

☐ ❌ No creo que aporte valor al aprendizaje

☐ ? No entendí bien esta sección

MolecularAR

Siguiente

¿Tuviste algún problema técnico o de navegación mientras usabas la plataforma?

☐ ⏳ La plataforma cargó lento

☐ ❌ Algunos botones o enlaces no funcionaron

☐ 🤔 Me costó entender cómo navegar

☐ 🖥 No se visualizaba bien en mi dispositivo

☐ 🟢 No tuve ningún problema

MolecularAR

Siguiente

¿Cómo te sentiste al usar esta parte de la plataforma?

🙄

😞

😐

😊

😍

FrustradoMuy satisfecho

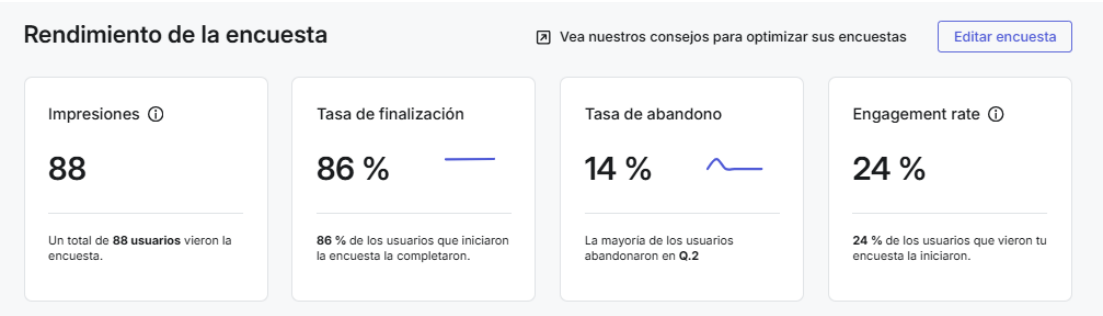
MolecularAR

Siguiente

Fuente: Captura de preguntas de encuesta emergente en Hotjar, 2025.

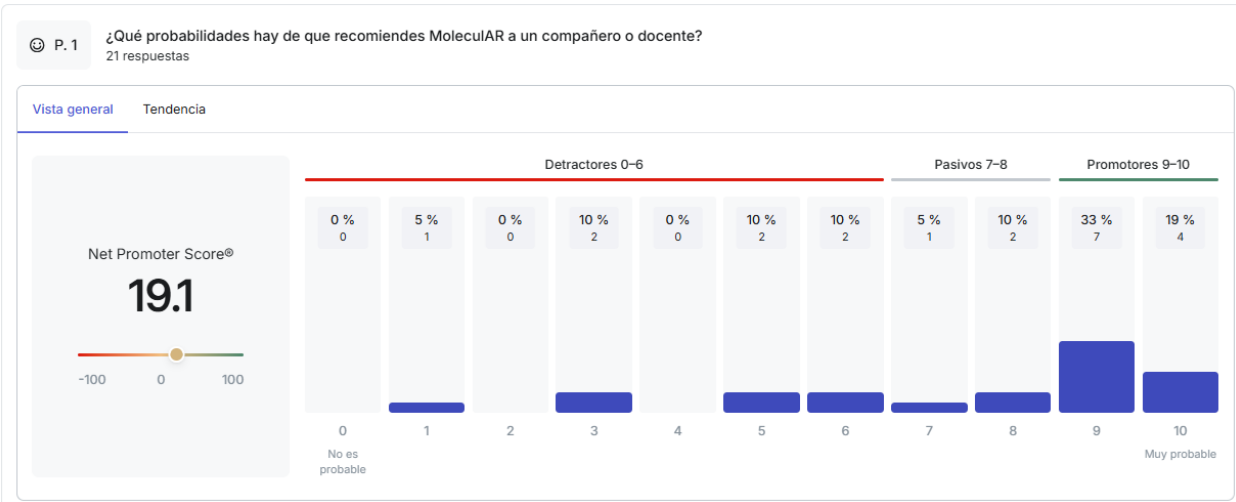
Resultados de las encuestas

Figura 120. Rendimiento de la encuesta emergente en Hotjar – Apéndice G.1



Fuente: Captura de rendimiento de encuesta emergente realizada con Hotjar, 2025.

Figura 121. Resultados de encuesta emergente Hotjar (pregunta 1) – Apéndice G.1



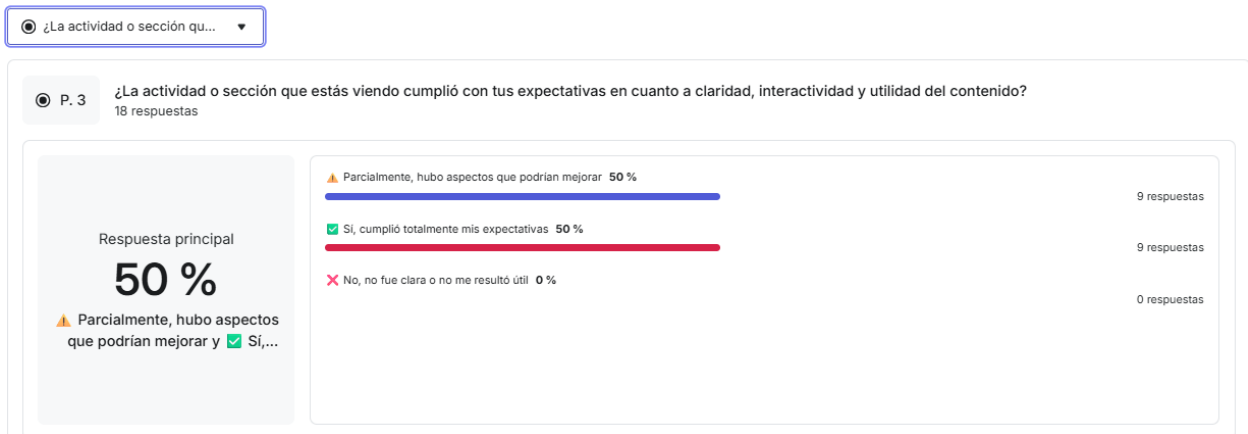
Fuente: Captura de resultados de encuesta emergente realizada con Hotjar, 2025.

Figura 122. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 2) – Apéndice G.1

19	VERLO EN 3D Y SABER INFORMACION DE LA MOLECULA QUE SE DIBUJA	positivas	/oractica/!resolver/	13 ago, 10:51	Ver respuesta
18	La posibilidad de formular las distintas moléculas	positivas	/oractica/!resolver/	13 ago, 10:47	Ver respuesta
17	El diseño y versatilidad de la página	positivas	/oractica/!resolver/	13 ago, 10:46	Ver respuesta
16	INTERACTIVO		/oractica/!resolver/	13 ago, 10:46	Ver respuesta
15	Todos	positivas	/oractica/!resolver/	13 ago, 10:45	Ver respuesta
14	El poder crear tus propias moléculas y poder aprender, a su vez que te enseñan acerca del tema.	positivas	/mis-cursos/	13 ago, 10:45	Ver respuesta
13	Los grupos funcionales se adaptan al tipo de enlace	neutral	/oractica/!resolver/	13 ago, 10:45	Ver respuesta
12	EL RESUMEN		/oractica/!resolver/	13 ago, 10:45	Ver respuesta
11	Los simuladores 3D		/oractica/!resolver/	13 ago, 10:45	Ver respuesta
10	VER LA MOLÉCULA EN 3D	positivas	/oractica/!resolver/	13 ago, 10:45	Ver respuesta
9	MUY FACIL DE ENTENER, RECOMIENDO APLICAR UNA OPCION DOND PUEDA ESCRIBIR EL NOMBRE DE LA MEOLECULA Y APARESCA, AYUDAIA MUCHISIMO	positivas	/oractica/!resolver/	13 ago, 10:45	Ver respuesta
8			/oractica/!resolver/	13 ago, 10:45	Ver respuesta
7			/usEstudiante/	13 ago, 10:37	Ver respuesta
6	Las prácticas de creación de crear las moléculas y ver en 3D	positivas	/	10 ago, 12:22	Ver respuesta

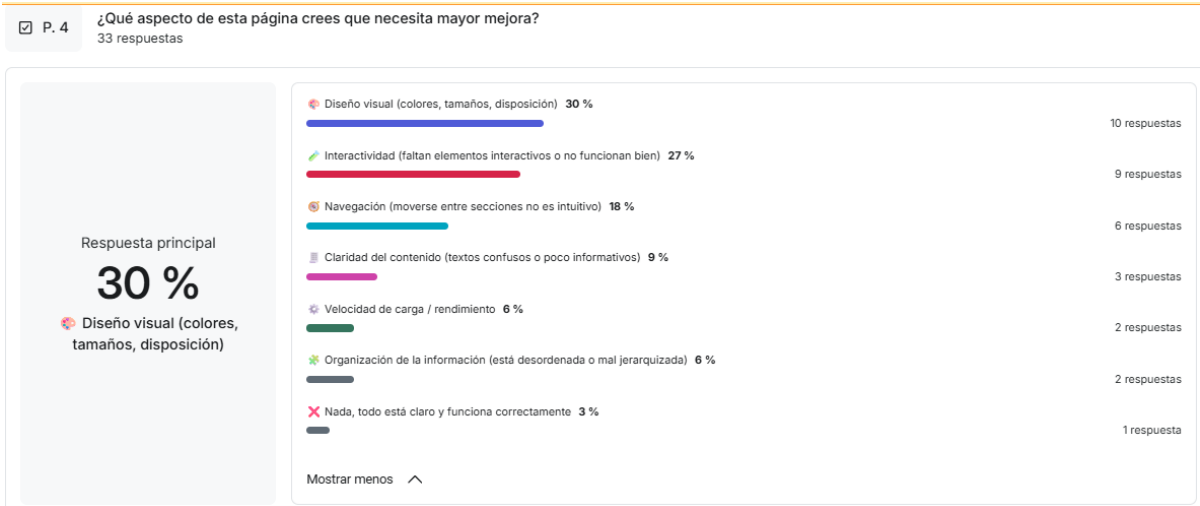
Fuente: Captura de resultados de encuesta emergente realizada con Hotjar, 2025.

Figura 123. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 3) – Apéndice G.1



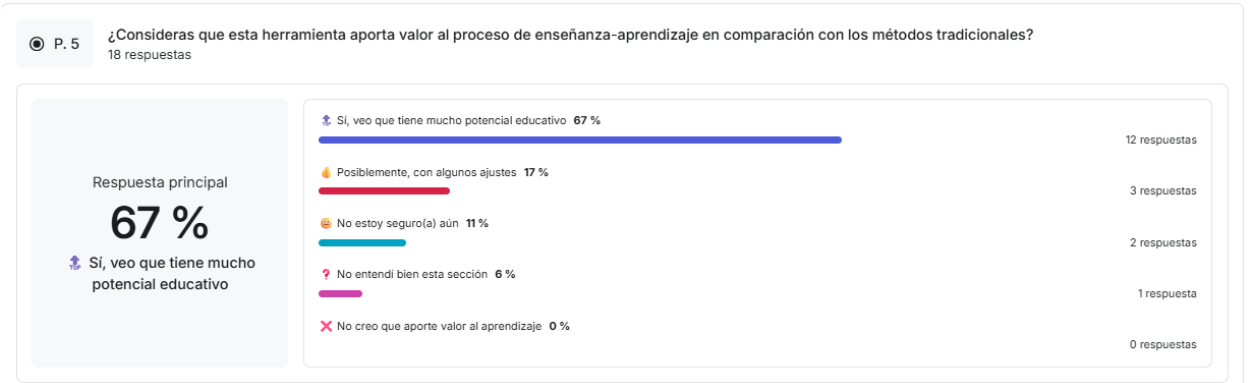
Fuente: Captura de resultados de encuesta emergente realizada con Hotjar, 2025.

Figura 124. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 4) – Apéndice G.1



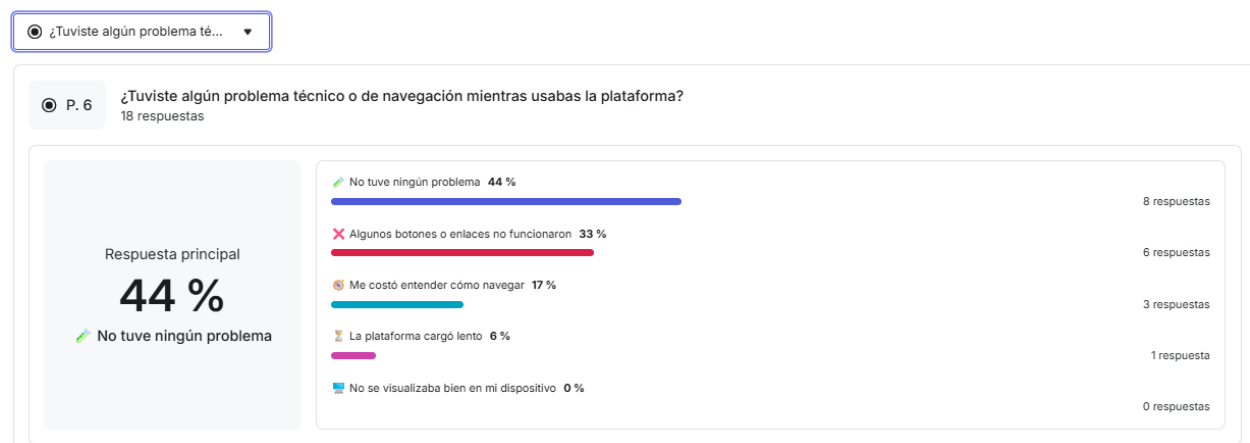
Fuente: Captura de resultados de encuesta emergente realizada con Hotjar, 2025.

Figura 125. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 5) – Apéndice G.1



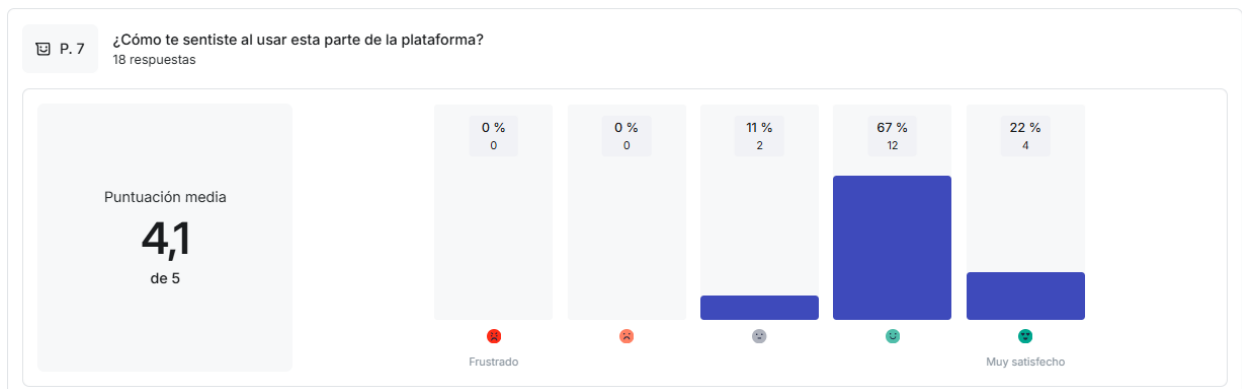
Fuente: Captura de resultados de encuesta emergente realizada con Hotjar, 2025.

Figura 126. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 6) – Apéndice G.1



Fuente: Captura de resultados de encuesta emergente realizada con Hotjar, 2025.

Figura 127. Resultados de encuesta emergente en Hotjar (pregunta 7) – Apéndice G.1



Fuente: Captura de resultados de encuesta emergente realizada con Hotjar, 2025.

G.2 Informe de la encuesta generado por IA en Hotjar

Figura 128. Informe de la encuesta en Hotjar (1 de 2) – Apéndice G.2

Resumen

Los aspectos más valorados de MolecularAR incluyen la capacidad de crear y visualizar moléculas en 3D, la interacción intuitiva de la plataforma, y la utilidad de los ejercicios que se presentan como juegos. La facilidad de uso y diseño también fueron destacados por varios usuarios.

Resultados

- La visualización en 3D de las moléculas es altamente apreciada por los usuarios.
- La plataforma es considerada muy interactiva e intuitiva por la mayoría de los encuestados.
- Los ejercicios y simuladores en MolecularAR son percibidos como útiles y entretenidos.
- Hay interés en una funcionalidad adicional que permita escribir el nombre de la molécula y que esta aparezca automáticamente.
- El diseño y la versatilidad de la página fueron puntos positivos mencionados por los usuarios.

Fuente: Captura del informe generado por IA de la encuesta emergente en Hotjar, 2025.

Figura 129. Informe de la encuesta en Hotjar (2 de 2) – Apéndice G.2

Próximos pasos

- Considerar la implementación de una función que permita escribir el nombre de la molécula y visualizarla automáticamente.
- Seguir desarrollando y mejorando las prácticas de creación de moléculas en 3D para mantener el interés de los usuarios.
- Evaluar oportunidades para hacer la plataforma aún más intuitiva y fácil de usar.
- Mantener y expandir las características interactivas y de diseño que han sido bien recibidas.
- Explorar nuevas maneras de integrar ejercicios tipo juego que ayuden a aprender de manera entretenida y efectiva.

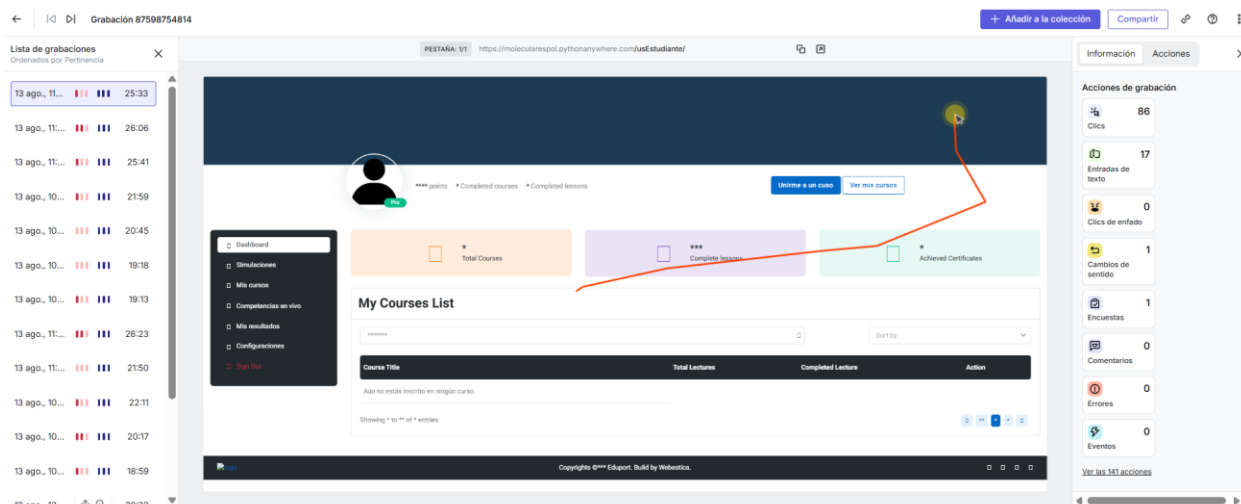
Fuente: Captura del informe generado por IA de la encuesta emergente en Hotjar, 2025.

Apéndice H. Datos detallados de evaluación

H.1 Session recordings

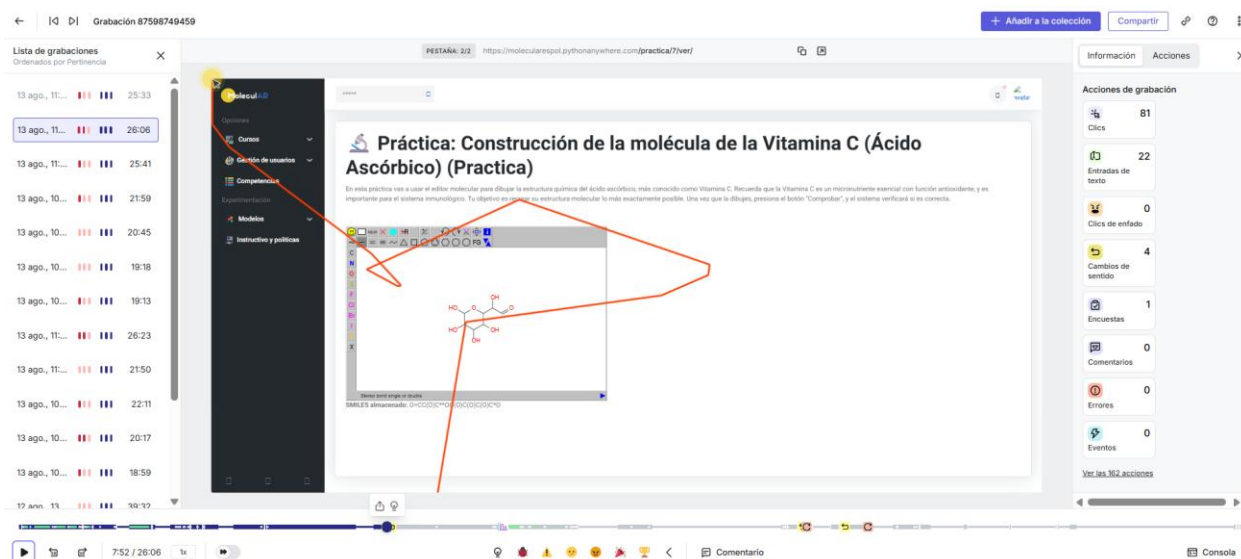
Se capturaron un total de 28 grabaciones de la interacción de la página donde se muestran los detalles de cada una de ellas visualizando: cantidad de clics, entradas de texto, clics de enfado, cambios de sentido, encuestas, comentarios, errores, eventos.

Figura 130. Captura del Session Recording Pantalla Dashboard estudiante – Apéndice H.1



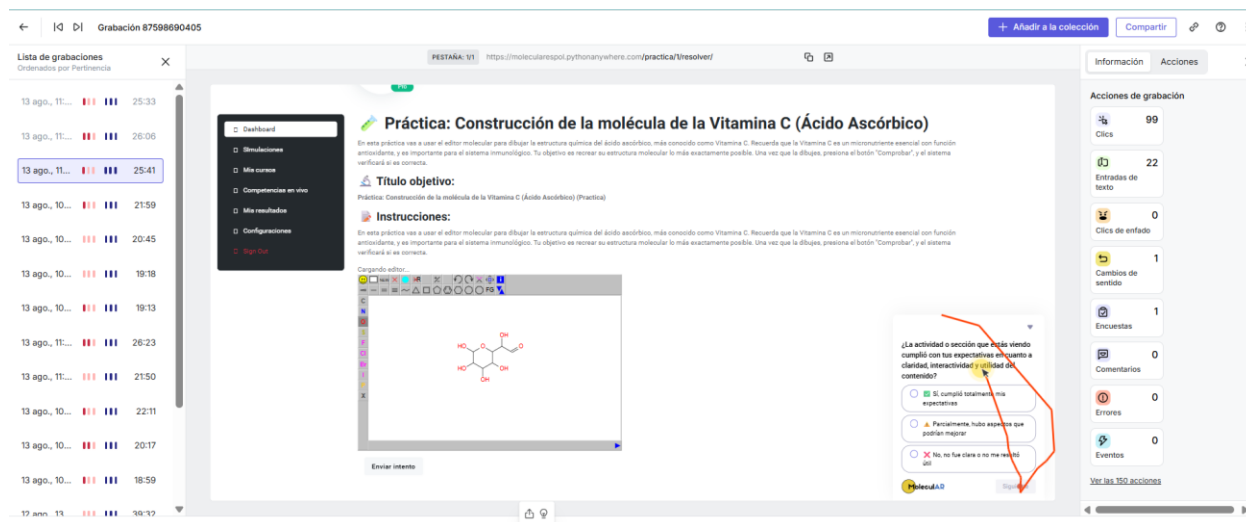
Fuente: Captura de session recordings de la prueba de usuario con estudiantes (plataforma desplegada) realizado con Hotjar, 2025.

Figura 131. Captura del Session Recording Pantalla Práctica Vitamina C – Apéndice H.1



Fuente: Captura de session recordings de la prueba de usuario con estudiantes (plataforma desplegada) realizado con Hotjar, 2025.

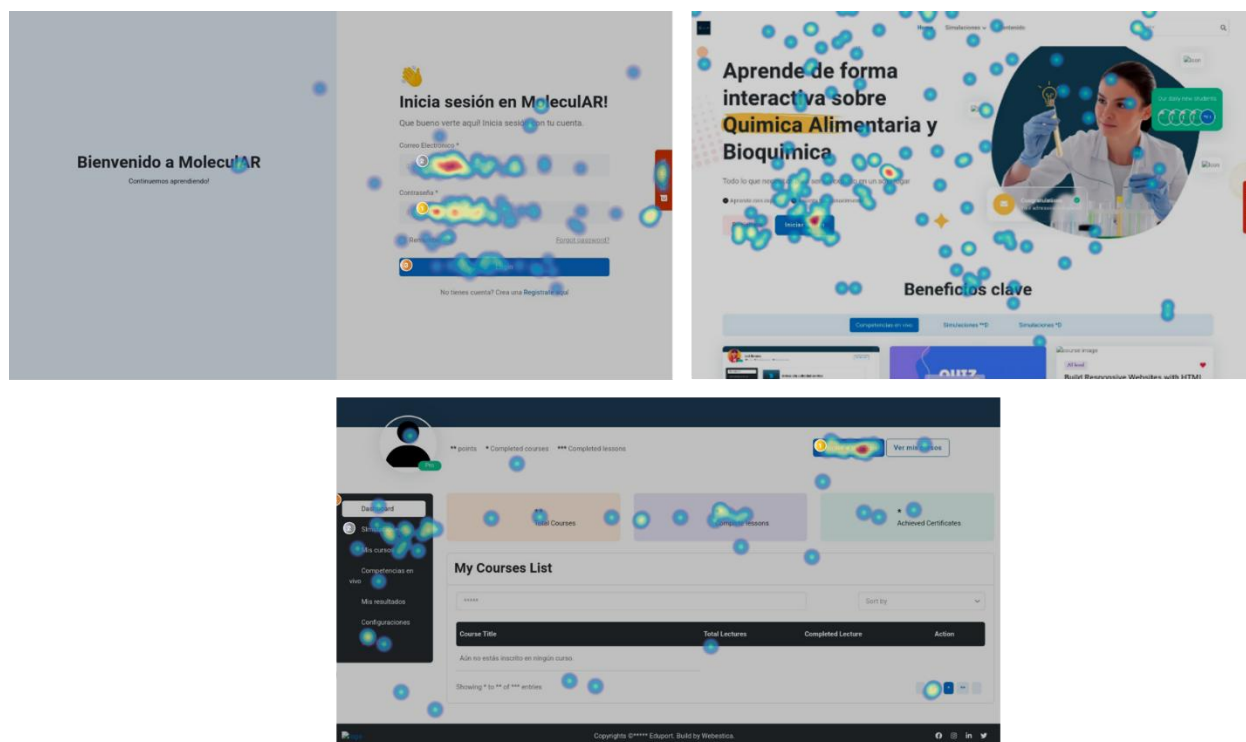
Figura 132. Captura del Session Recording Pantalla Encuesta emergente – Apéndice H.1



Fuente: Captura de session recordings de la prueba de usuario con estudiantes (plataforma desplegada) realizado con Hotjar, 2025.

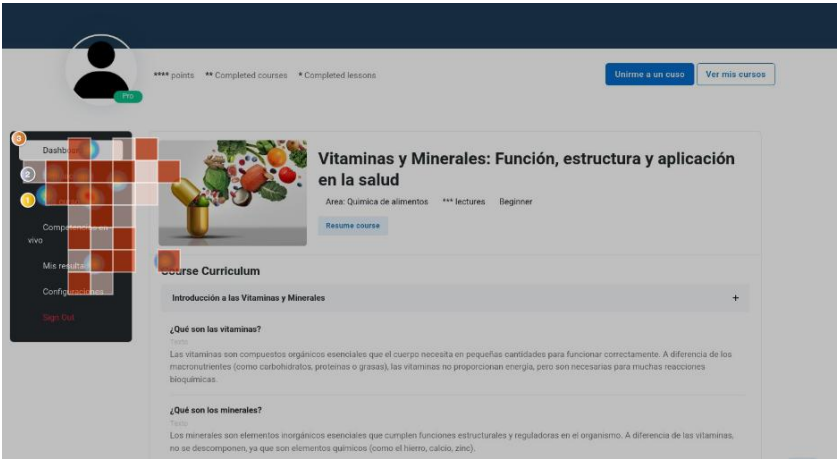
H.2 Mapas de Calor de las páginas de prueba con usuarios

Figura 133. Capturas Mapas de Calor de la plataforma – Apéndice H.2



Fuente: Mapas de calor generados por Hotjar a partir de interacción de usuarios durante pruebas controladas, 2025.

Figura 134. Captura Mapa de calor con Zona Engagement – Apéndice H.2



Fuente: Mapa de calor generado por Hotjar a partir de interacción de usuarios durante pruebas controladas, 2025.