TESIS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

2016

113

Javier Gómez-Arrue Azpiazu

Diseño, desarrollo e implementación de nuevas herramientas docentes basadas en TIC en veterinaria equina

Departamento
Patología Animal

Director/es
Blas Giral, Ignacio de
Vázquez Bringas, Francisco José

ISSN 2254-7606

Prensas de la Universidad
Universidad Zaragoza

ISSN 2254-7606

Universidad Zaragoza
1542

Tesis Doctoral

DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS HERRAMIENTAS DOCENTES BASADAS EN TIC EN VETERINARIA EQUINA

Autor

Javier Gómez-Arrue Azpiazu

Director/es

Blas Giral, Ignacio de

Vázquez Bringas, Francisco José

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Patología Animal

2016

Universidad Zaragoza
1542

Tesis Doctoral

Diseño, desarrollo e implementación de nuevas herramientas docentes basadas en TIC en Veterinaria Equina

Autor:

Javier Gómez-Arrue Azpiazu

Directores:

Prof. Dr. Ignacio de Blas Giral

Prof. Dr. Francisco José Vázquez Bringas

Universidad de Zaragoza

Patología Animal

2015

Departamento de
Patología Animal
Universidad Zaragoza

Dr. Ignacio de Blas Giral, Profesor Titular del Departamento de Patología Animal de la Universidad de Zaragoza y Dr. Francisco José Vázquez Bringas, Profesor Asociado del Departamento de Patología Animal de la Universidad de Zaragoza

CERTIFICAN:

Que la Tesis Doctoral titulada "Diseño, desarrollo e implementación de nuevas herramientas docentes basadas en TIC en Veterinaria Equina", que presenta el Licenciado en Veterinaria D. Javier Gómez-Arrue Azpiazu, ha sido realizada bajo su dirección en el Departamento de Patología Animal de la Universidad de Zaragoza y cumple con las condiciones exigidas para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Zaragoza, por lo que autorizan su presentación para que sea juzgada por el Tribunal correspondiente.

Y para que conste, firmamos el presente certificado en Zaragoza, a 12 de noviembre de dos mil quince,

Fdo.: Prof. Dr. Ignacio de Blas Giral

Fdo.: Prof. Dr. Francisco José Vázquez Bringas

A todos los que alguna vez han decidido confiar en mí y me han dado
la oportunidad de demostrar mis capacidades

Ezina ekinez egina

Agradecimientos

Cuando te planteas el momento de a quién agradecer el punto hasta el que has llegado, la verdad es que hay 10 opciones: o bien no te sale nada, o bien no puedes callar.

Dicho esto por delante, espero que esta sección no se convierta en la celebración del Oscar de cierto director castellano-manchego.

En primer lugar, querría agradecer que esto haya llegado a buen puerto a Nacho y a Paco, por su paciencia y por aguantar (y permitir) mis… ¿peculiaridades?, ¿excentricidades? No, no tengo tanto dinero. Van a ser mis locuras.

A los Profes Viloria y Valdivia, por enseñarme tanto con tanta ilusión.

Al Profesor de Miguel y al resto del GITMI, por compartir conmigo de qué iba eso de investigar y conseguir que me llamara la atención por encima de mis metas originales.

A Alicia, por sentarse a comer conmigo cierto día y decirme que me subiera al carro.

A Carol, Rocío y María, por todos esos largos días de Facultad.

A Jose y a Fernando, por poner el punto tecno-interesante a esos mismos días y por su contagiosa positividad.

A Cirugía, por acogerme y hacerme sentir uno más.

A Caballos, por conseguir lo mismo que Cirugía pero en la planta de abajo.

A Cristina, por la oportunidad y por lo mismo que a Iñaki y a Pilar.

A Iñaki y a Pilar, por meterme caña con este tema periódicamente para que no me olvidara.

A Gonzalo, Jorge y Carlos, por ayudarme buscando errores.

A Ana, por tus inestimables esfuerzos al final del camino.

Desde el punto de vista técnico-artístico:

A Edge Entertainment, por permitirme utilizar el material gráfico presente en esta Tesis de forma gratuita.

A Ediciones Holocubierta, y en especial a Ismael, por echarme una mano desinteresadamente para poder imprimir esta Tesis tal y como yo quería.

A Iker, por su buena disposición y hacer más fáciles un montón de decisiones que podrían haberse convertido en un dolor.

Por último, y aunque no los conozca personalmente ni sepan quién soy yo:

A Nespresso, por ayudarme a terminar a tiempo.

A Glenn Stafford, Klaus Badelt, Hans Zimmer, Danny Elfman, Russell Brower, John Williams, Ennio Morricone, Derek Duke, Tracy W. Bush… por ayudar a que no me volviera (aún más) loco a lo largo de tantas horas.

Y sobre todo, a Beatriz, por las antenitas…

Índice

1 Justificación 1
2 Objetivos 5
3 Antecedentes generales 9
3.1 Introducción 11
3.2 Metodologías activas de aprendizaje y tecnologías de la información y la comunicación (TIC) 13
3.3 Metodologías activas basadas en TIC orientadas a la adquisición de competencias clínicas en Veterinaria 14
3.4 Disponibilidad de herramientas basadas en TIC y simuladores para Ciencias Veterinarias 16
3.5 Algunos ejemplos de herramientas basadas en TIC aplicables a la clínica equina 16
3.5.1 Metodologías no activas sin evaluación 17
3.5.2 Metodologías no activas con evaluación 19
3.5.3 Metodologías activas 20
3.6 Limitaciones y tendencias futuras 25
3.7 Premisas y requerimientos para el desarrollo e implementación de aplicaciones basadas en TIC 26
3.8 El software ideal 27
3.9 Modelos de desarrollo de software 31
3.10 Especificaciones del software y análisis de requerimientos 33
3.11 Diseño e implementación 33
3.12 Entornos de programación 35
3.13 Validación del software 35
3.14 Mantenimiento y Reingeniería 36
4 Material y métodos general 39
5 Simulador de Diagnóstico de cojeras en caballos 47
5.1 Justificación 49
5.2 Antecedentes 51
5.3 Material y métodos 62
5.3.1 Sistematización del proceso para su implementación como herramienta web mediante el uso de DFD 62
5.3.2 Análisis del material necesario para documentar los casos y sistematización de la nomenclatura de los archivos 63
5.3.3 Análisis y elección del método de autoevaluación 64
5.3.4 Temas de ayuda 64
5.3.5 Diseño de la aplicación 65
5.3.6 Recogida de material multimedia y documentación de casos. Normalización y edición del material recogido 66
5.3.7 Prueba y verificación de la aplicación 69
5.4 Resultados 71
5.4.1 Capa de negocio 71
5.4.2 Capa de datos 73
5.4.3 Capa GUI 74
5.4.4 Evaluación del software con alumnos 100

5.5 Análisis de debilidades del sistema 101
5.5.1 Aspectos técnicos 101
5.5.2 Aspectos clínicos 102
5.5.3 Aspectos docentes 103
6 Simulador de Herencia Mendeliana (La herencia de las capas en el PRE) 105
6.1 Justificación 107
6.2 Antecedentes 108
6.2.1 Las capas en el PRE 108
6.2.2 Bases histológicas y bioquímicas del color de la capa 113
6.2.3 Bases genéticas de la Herencia Mendeliana 114
6.2.4 El control genético de las capas en los caballos 116
6.2.5 Otras aplicaciones existentes para la docencia de la herencia del color de las capas en caballos 120
6.3 Material y métodos 122
6.3.1 Sistematización del proceso para su implementación como herramienta web mediante el uso de DFD 122
6.3.2 Análisis del material necesario para documentar los casos y sistematización de la nomenclatura de los archivos 123
6.3.3 Análisis y elección del método de autoevaluación 123
6.3.4 Temas de ayuda 123
6.3.5 Diseño de la aplicación 124
6.3.6 Recogida de material multimedia y documentación de casos. Normalización y edición del material recogido 125
6.3.7 Prueba y verificación de la aplicación 126
6.4 Resultados 127
6.4.1 Capa de negocio 127
6.4.2 Capa de datos 128
6.4.3 Capa GUI 129
6.5 Análisis de debilidades del sistema 137
7 Plataforma Coop-PvP de evaluación de conocimientos 139
7.1 Justificación 141
7.2 Antecedentes 142
7.3 Material y métodos 149
7.3.1 Sistematización del proceso para su implementación como herramienta web mediante el uso de DFD 149
7.3.2 Análisis del material necesario para documentar los casos y sistematización de la nomenclatura de los archivos 150
7.3.3 Análisis y elección del método de autoevaluación 151
7.3.4 Diseño de la aplicación 151
7.3.5 Recogida de material multimedia y documentación de casos. Normalización y edición del material recogido 152
7.3.6 Prueba y verificación de la aplicación 153
7.4 Resultados 154
7.4.1 Capa de Negocio 155
7.4.2 Capa de Datos 157
7.4.3 Capa GUI 158

7.5 Análisis de debilidades del sistema 174
8 Conclusiones 177
9 Bibliografía 181
10 Anexos 193
10.1 Resultados encuestas Traumatología, Ortopedia y Podología 195
10.2 Resultados encuestas Clínica Hospitalaria Veterinaria 195
10.3 Proyectos, congresos, libros y reconocimientos 201
10.3.1 *Proyectos de Innovación Docente* 201
10.3.2 *Presentación a congresos* 201
10.3.3 *Capítulos de libros* 202
10.3.4 *Premios y Reconocimientos* 202
10.4 Evolución de los lenguajes Open Source de programación a lo largo de la historia 203

Índice de Figuras y Tablas

Índice de Figuras

Figura 3.1: Comparativa entre la "Curva de la Bañera" y la curva de vida útil del software.....31
Figura 5.1: DFD del Simulador de Diagnóstico de Cojeras en Caballos 72
Figura 5.2: DER del Simulador de Diagnóstico de Cojeras en Caballos 73
Figura 5.3: Pantalla de presentación del Simulador de Diagnóstico de Cojeras en Caballos 74
Figura 5.4: Selección de caso 75
Figura 5.5: Selección de Prueba Inicial 76
Figura 5.6: Preguntas de la anamnesis 77
Figura 5.7: Respuestas de todas las preguntas de la anamnesis en uno de los casos 78
Figura 5.8: Examen estático 79
Figura 5.9: Ejemplo de Test de Flexión negativo.....80
Figura 5.10: Ejemplo de Test de Flexión positivo 80
Figura 5.11: Test de pinza de casco negativo.....81
Figura 5.12: Test de pinza de casco positivo 1.....82
Figura 5.13: Test de pinza de casco positivo 2.....82
Figura 5.14: Selección de prueba en el Examen Dinámico.....83
Figura 5.15: Selección de movimiento natural.....84
Figura 5.16: Visualización de vídeo de movimiento natural.....84
Figura 5.17: Selección de Test de Flexión Dinámico.....85
Figura 5.18: Identificación de extremidad afectada 86
Figura 5.19: Error por falta de pruebas 87
Figura 5.20: Error por identificación de extremidad afectada incorrecta.....88
Figura 5.21: Identificación de extremidad afectada correcta 88
Figura 5.22: Selección de prueba complementaria.....89
Figura 5.23: Inicio de selección de zona a anestesiar.....91
Figura 5.24: Selección completa de zona a anestesiar.....91
Figura 5.25: Error en anestesia diagnóstica por imposibilidad manifiesta.....92
Figura 5.26: Error de anestesia diagnóstica por contraindicación clínica 92
Figura 5.27: Error de anestesia diagnóstica por falta de indicación clínica 93
Figura 5.28: Visualización de vídeo tras anestesia diagnóstica 93
Figura 5.29: Selección de prueba de diagnóstico por imagen 94
Figura 5.30: Ejemplo de pantalla de selección de proyección de radiografía 94
Figura 5.31: Ejemplo de varias proyecciones radiológicas y de evolución del dosímetro virtual 95

Figura 5.32: Ejemplo de exploración ecográfica positiva 96
Figura 5.33: Ejemplo de exploración ecográfica negativa..... 97
Figura 5.34: Diagnóstico definitivo 98
Figura 5.35: Diagnóstico incorrecto 99
Figura 5.36: Diagnóstico correcto..... 99
Figura 6.1: Caballo tordo (Yeguada "El Bayo", Yéqueda, Huesca)..... 109
Figura 6.2: Caballo alazán (Yeguada "El Bayo", Yéqueda, Huesca) 109
Figura 6.3: Caballo castaño (Yeguada "El Bayo", Yéqueda, Huesca) 110
Figura 6.4: Caballo negro (Yeguada "El Bayo", Yéqueda, Huesca) 110
Figura 6.5: Caballo palomino (Peter Broster, Flickr) 111
Figura 6.6: Caballo crema o cremello (Daysiree Bakker, Flickr)..... 111
Figura 6.7: Caballo bayo (D Coetzee, Flickr)..... 112
Figura 6.8: Caballo perla o perlino (Alauruin, Flickr)..... 112
Figura 6.9: DFD del Simulador de Herencia Mendeliana 128
Figura 6.10: DER del Simulador de Herencia Mendeliana 128
Figura 6.11: Pantalla de presentación del Simulador de Herencia Mendeliana 129
Figura 6.12: Temas de ayuda..... 130
Figura 6.13: Visualizador de genotipos y fenotipos 130
Figura 6.14: Ejercicio 1.1, Reconocimiento de Capas 1..... 131
Figura 6.15: Ejercicio 1.2, Reconocimiento de Capas 2..... 132
Figura 6.16: Ejercicio 2.1, Ejercicio de Dominancia Completa 133
Figura 6.17: Ejercicio 2.2, Ejercicio de Epistasia..... 134
Figura 6.18: Respuesta Incorrecta 135
Figura 6.19: Respuesta Correcta..... 136
Figura 7.1: DFD de la Plataforma Coop-PVP de Evaluación de Conocimientos..... 156
Figura 7.2: DER de la Plataforma Coop-PVP de Evaluación de Conocimientos..... 157
Figura 7.3: Identificación del usuario 158
Figura 7.4: Pantalla Inicial..... 159
Figura 7.5: Alta de usuarios..... 159
Figura 7.6: Lista de usuarios de la aplicación..... 160
Figura 7.7: Lista de revisores..... 160
Figura 7.8: Modificar datos personales..... 161
Figura 7.9: Creación de nuevas preguntas 161
Figura 7.10: Modificación o categorización de preguntas..... 162

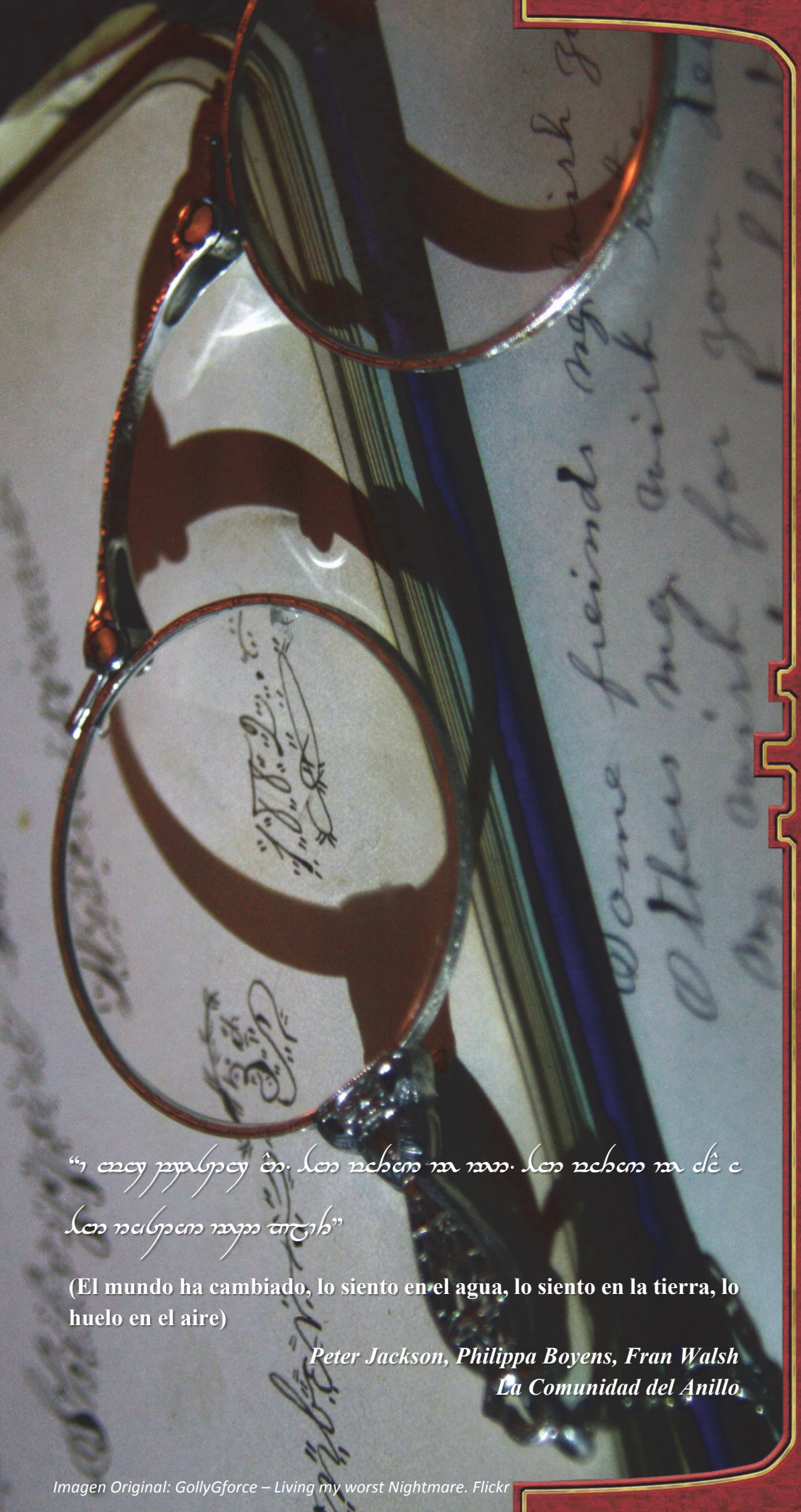
Figura 7.11: Preguntas pendientes de revisar 163
Figura 7.12: Estadísticas de preguntas por categoría 163
Figura 7.13: Estadísticas de preguntas por usuario 164
Figura 7.14: Listado de preguntas aceptadas 164
Figura 7.15: Alta de nuevo equipo 165
Figura 7.16: Listado de equipos 165
Figura 7.17: Alta de partida nueva 166
Figura 7.18: Listado de preguntas, jugadas y pendientes 166
Figura 7.19: Vista de partida jugada 167
Figura 7.20: Vista de partida pendiente de jugar 167
Figura 7.21: Presentación de la partida 168
Figura 7.22: Puntuaciones iniciales 169
Figura 7.23: Puntuaciones a lo largo de la partida, con categoría completa 169
Figura 7.24: Selección de tema, con posibilidad de completar categoría 170
Figura 7.25: Pregunta 171
Figura 7.26: Respuesta correcta 171
Figura 7.27: Respuesta incorrecta 172
Figura 7.28: Rebote con respuesta correcta 172
Figura 7.29: Puntuación final 173
Figura 10.1: Evolución de los lenguajes Open Source de programación entre 1993 y 2013 ...203

Índice de Tablas

Tabla 5.1: Principales procesos patológicos que cursan con la aparición de cojeras, y su respuesta a los diferentes bloqueos anestésicos (80). 59
Tabla 6.1: Proporciones de segregación Inusuales (111) 115
Tabla 6.2: Control genético de las capas en caballos (103) 120

Índice de Figuras y Tablas

1
Justificación



"I ennyn ammolnoy ên. Ion nehem na nan. Ion nehem na dê e Ion neulnem nann ennih"

(El mundo ha cambiado, lo siento en el agua, lo siento en la tierra, lo huelo en el aire)

Peter Jackson, Philippa Boyens, Fran Walsh
La Comunidad del Anillo

Imagen Original: GollyGforce – Living my worst Nightmare. Flickr

El mundo ha cambiado. Con la llegada de internet y la democratización del conocimiento, los profesionales universitarios egresados se encuentran cada vez más presionados desde el momento de su graduación por un público que tiene acceso a toda la información pero no sabe distinguir realidad de ficción.

Esto ha dado lugar a que los *curricula* educativos sean cada vez más extensos, con una normativa que exige una mayor carga práctica y mayores competencias que debe adquirir el discente y poner en práctica al día siguiente de egresar de su centro (1–3).

Este hecho también ha creado la sensación en la sociedad de que los profesionales universitarios están cada vez menos preparados y que la calidad de los egresados está muy por debajo de la de generaciones anteriores. Si bien esta premisa no es correcta, sí es cierto que debido al aumento de conocimiento científico experimentado en los últimos tiempos el porcentaje del mismo que pueden abarcar a su salida de los centros docentes es menor que en épocas anteriores (4).

Sin embargo, las mismas herramientas informáticas que han forzado esta democratización del conocimiento permiten la creación de soluciones para la mejora de la docencia, aumentando, de ese modo, las competencias (5).

Desde 1980, las herramientas informáticas docentes vienen demostrando su potencial cuando son correctamente incluidas en los *curricula* (6). Estas herramientas pueden ayudar a los alumnos a preparar previamente sus sesiones prácticas y favorecer así un aprovechamiento total de éstas sin tener que "aprender a aprender" en ese momento, puesto que cuando lleguen, ya sabrán qué se espera de ellos y qué deben hacer, qué deben mirar y en qué se deben fijar.

Este problema es especialmente sangrante en profesiones sanitarias en las que se requiere una práctica con pacientes y casos clínicos reales, que no siempre llegan a las instalaciones docentes sincronizados con el programa práctico. Es posible que grupos enteros de alumnos pasen por las instalaciones de una Facultad de Veterinaria sin ver una sola cojera real o solamente un caso. A esto debemos añadirle que las prácticas de todas las asignaturas deben coordinarse como los engranajes de un reloj dejando muy poca flexibilidad horaria a los discentes para adecuarse a la llegada de estos casos a las instalaciones.

¿Acaso no es mejor que ciertas competencias básicas puedan ser adquiridas en casa y repetirse una y otra vez para aprovechar las prácticas con pacientes lo mejor posible?

Además, en estas profesiones debemos tener en cuenta una serie de consideraciones éticas muy importantes. Hemos comentado que el entorno es cada vez más exigente con los recién egresados, pero también lo es con los profesionales. De ese modo, cuando un recién egresado llega al mercado laboral es difícil que se le permita realizar ciertas funciones que puedan suponer un riesgo para el paciente. A esta exigencia se le suma un aumento de la conciencia ética sobre los animales de experimentación y sobre los empleados para prácticas y docencia, cuyo uso se encuentra cada vez más y más restringido (7).

El "Principio de las tres R" nos exige: reemplazar los animales utilizados por otros medios, reducir el número de animales utilizado que no sean reemplazados y refinar los experimentos con ellos para asegurar su bienestar en la medida de lo posible (8).

Por ello, las herramientas informáticas antes mencionadas permiten, además de aumentar el aprovechamiento de las prácticas con animales, sustituir parte de ellas y pasar de modelos *in vivo* a modelos *in silico* (7).

Los estudios demuestran no solo que los simuladores tienen un efecto beneficioso en la docencia, sino también que, para ser eficaces, no tienen por qué mimetizar a la perfección los procesos que muestran, abriendo un campo enorme para la mejora docente de los programas de nuestros discentes (9).

Es por tanto una obligación de la Universidad, como Institución y como Idea, ir al límite de las posibilidades docentes y actuar como fuerza disruptora que modifique los esquemas docentes establecidos y apueste por lo que está más allá para poder llegar eventualmente hasta lo que ahora mismo ni somos capaces de imaginar (10).

Por todo lo anteriormente expuesto y teniendo en cuenta nuestras circunstancias se ha llevado a cabo esta Tesis Doctoral en la que se han desarrollado tres aplicaciones informáticas basadas en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para ayudar a mejorar en la medida de lo posible la formación de los futuros veterinarios.

2
Objetivos

“Demasiado a menudo, el desarrollo de software sigue la primera ley del ciclismo: da igual a dónde vayas, es cuesta arriba y contra el viento”

Anónimo

Imagen Original: Juan Eduardo Donoso. Flickr

Objetivos

Los objetivos de la presente Tesis Doctoral son:

- Diseñar, desarrollar e implementar un simulador de diagnóstico de cojeras en caballos.

- Diseñar, desarrollar e implementar un simulador de herencia mendeliana utilizando como ejemplo la herencia de las capas en los caballos.

- Diseñar, desarrollar e implementar una plataforma cooperativa - jugador contra jugador (Coop-PvP) con capacidad de organizar competiciones entre equipos y con una organización que permita su uso en cualquier disciplina académica.

3

Antecedentes generales

"La Ciencia no es nada más que una serie de preguntas que llevan a otras preguntas"

Terry Pratchett
La Tierra Larga

Imagen Original: Loughborough University Library. Flickr

Introducción

Metodologías activas de aprendizaje y tecnologías de la información y la comunicación (TIC)

Metodologías activas basadas en TIC orientadas a la adquisición de competencias clínicas en Veterinaria

Disponibilidad de herramientas basadas en TIC y simuladores para Ciencias Veterinarias

Algunos ejemplos de herramientas basadas en TIC aplicables a la clínica equina

Limitaciones y tendencias futuras

Premisas y requerimientos para el desarrollo e implementación de aplicaciones basadas en TIC

El software ideal

Modelos de desarrollo de software

Especificaciones del software y análisis de requerimientos

Diseño e implementación

Entornos de programación

Validación del software

Mantenimiento y Reingeniería

En los últimos años se ha observado un aumento en el uso de las TIC aplicadas a las asignaturas clínicas en las Facultades de Ciencias Veterinarias.

La utilización de estas tecnologías no siempre ha venido de la mano del manejo de metodologías activas de aprendizaje, que requieren mayor implicación del discente, sino que han sido aprovechadas como meros repositorios de material de apoyo a las clases magistrales.

La adecuada implementación de dichas tecnologías debería tener un impacto positivo para el *curriculum* y el discente, ya que permite adecuar los casos disponibles al horario de las prácticas, es independiente de la llegada de casos a las instalaciones, facilita la organización de las prácticas presenciales porque optimiza su aprovechamiento y permite al discente tomar decisiones para las que necesitaría años de experiencia.

Por tanto, el uso de metodologías activas basadas en TIC permite una mayor adquisición de competencias por parte del alumno, ya que le convierte en protagonista y centro de la toma de decisiones, y posibilita que un gran número de discentes puedan acceder a diversos casos clínicos reales previos a la realización de prácticas con el animal. Esto optimiza el aprovechamiento de las prácticas y minimiza y racionaliza el uso de animales empleados.

En cualquier caso, cabe resaltar que el uso de las TIC no debería sustituir bajo ningún concepto las prácticas in vivo con el animal, siendo esta una de las principales tentaciones en las que se puede caer al utilizar estas tecnologías.

3.1 Introducción

La creación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) mediante la Declaración de Bolonia, ha supuesto un importante cambio en la estrategia educativa de los países adheridos a dicha iniciativa. Uno de los objetivos del EEES es promover la convergencia de las titulaciones en el seno de la Unión Europea, lo que obliga a la adopción de un sistema comparable entre todos los Estados Miembros y a una adecuación de la educación al mercado de trabajo. De esta manera, el nivel de Grado deberá ofrecer una formación universitaria que integre los conocimientos generales básicos así como los conocimientos específicos de carácter profesional orientados a la integración en el mercado laboral (11).

Aunque a priori pueda parecer un objetivo lógico en la docencia universitaria, tradicionalmente se han observado una serie de deficiencias en los profesionales recién egresados que son atribuibles al sistema docente. Dichas deficiencias afectan fundamentalmente al desarrollo de competencias básicas y se centran en la capacidad de tomar decisiones, de aplicar conocimientos en la práctica y de resolver problemas.

Para paliar dichas deficiencias, se han propuesto una serie de acciones destinadas a potenciar actividades de tipo práctico, con resolución de problemas reales, discusión y exposición de casos, simulación interactiva, autoaprendizaje y autoevaluación.

Otro punto en el que incide esta Declaración es la necesidad de que las instituciones universitarias se adapten en todo momento a las nuevas necesidades, a las expectativas de la sociedad y a la evolución de los avances científicos (12).

En el caso particular de la docencia en Ciencias Veterinarias se propone la participación de los discentes en actividades profesionales desde el inicio de sus estudios, bien en explotaciones ganaderas como en hospitales veterinarios (1). Este tipo de prácticas deben ser realizadas en grupos reducidos con intervención activa de los alumnos ya que la mera observación de la

práctica de la veterinaria por parte de terceros no es aceptable para la adquisición de las competencias necesarias para el ejercicio de la profesión. Deben establecerse una serie de entornos lo más parecidos posible a un entorno real ideal para que estos discentes puedan realizar el seguimiento de casos (tanto rutinarios como complejos) desde un inicio hasta su desenlace final (13). Sin embargo, la disponibilidad de animales es limitada ya que se deben tener en cuenta diversas consideraciones éticas así como el cumplimiento de la normativa que regula la protección de los animales utilizados tanto en procedimientos de investigación como docentes (8). Esta estricta normativa obliga a controlar a través de un comité ético el uso de animales. Dicho comité debe supervisar y aprobar o modificar las prácticas en las que se vayan a utilizar animales de experimentación.

Por otro lado, el seguimiento de casos reales por parte de los alumnos debe estar en todo momento supervisado por un profesional cualificado, ya que, las decisiones tomadas por los discentes carecen de la base de experiencia necesaria y no puede permitirse que los animales, tanto de producción como de compañía, sufran un daño por esta falta de experiencia.

Tanto la existencia de esta regulación, como la necesidad de recursos humanos que tutelen en todo momento a grupos de alumnos de pequeño tamaño, aumentan considerablemente los recursos necesarios para el correcto ejercicio de las prácticas. Por esta razón, es completamente necesario maximizar el aprovechamiento de los casos clínicos y las prácticas regladas con animales, para lo cual es preciso que los discentes hayan adquirido unas competencias previas determinadas y conozcan en profundidad las técnicas a aplicar en cada sesión práctica.

Además, se ha podido comprobar que en situaciones de estrés, la capacidad cognitiva se deteriora rápidamente si el entrenamiento no es correcto, llegando a transformar un problema leve en una situación irresoluble debido a la toma de decisiones del profesional encargado de la situación (14, 15). En estos casos es muy importante un entrenamiento previo que permita una rápida y efectiva identificación de la situación y que conlleve una toma de decisiones adecuada antes de que la situación sea incontrolable. Sin embargo, aunque el entrenamiento en simuladores es muy importante para los profesionales sanitarios por los motivos anteriormente mencionados, dichos simuladores deben ser diseñados de una forma concienzuda. Si estos entornos de simulación no están bien diseñados, su uso acaba convirtiéndose en una serie de pasos repetitivos en los que no aparece el principal efecto desestabilizador en cualquier situación que exija una rápida toma de decisiones: la sorpresa. Por ello, los entornos de simulación más complejos deben ser capaces de simular las situaciones más reales posibles, obligando al usuario a tomar decisiones en una circunstancia semejante a la realidad y observando la mayor cantidad de variables (15).

Dos áreas paradigmáticas donde la simulación y el análisis de riesgos se utilizan de forma rutinaria desde hace varias décadas son el sector aeronáutico y el sector de la energía nuclear. Precisamente en estos sectores es donde encontramos los dos ejemplos que posiblemente hayan tenido una mayor repercusión y que mejor ilustran este problema: el accidente del vuelo Air France 447 y la explosión del reactor número 4 de la central nuclear de Chernobyl. En ambos casos, la situación a la que se enfrentaron los responsables de la toma de decisiones era perfectamente controlable. Sin embargo, y debido a dicha toma de decisiones, se perdió completamente el control de ambas situaciones hasta que no hubo posibilidad de solución (14, 15). En el caso del vuelo AF447, además, el personal de cabina no fue consciente en ningún momento de lo que estaba sucediendo debido a la rápida degradación de las capacidades cognitivas de los protagonistas que, a causa de un indebido entrenamiento, no fueron capaces de analizar correctamente la situación ni las advertencias del sistema. Este fue un caso evidente de error en el diseño de los entornos de simulación, ya que la situación a la que se enfrentaron había

sido simulada con anterioridad. La causa del accidente fue la presentación de la situación de forma inesperada y una incorrecta distribución de las funciones del personal, lo que llevó a un fracaso del análisis de la situación (15).

3.2 Metodologías activas de aprendizaje y tecnologías de la información y la comunicación (TIC)

Para poder adaptarse a estos requerimientos, las universidades españolas han ido desarrollando una serie de planes institucionales de docencia virtual. A lo largo de estos años, han ido equipándose y preparando sus instalaciones para la integración de las TIC en el aula. En 2011 se estimó que la mitad de las aulas disponían de equipamiento multimedia y ofrecían a sus estudiantes conexión a Internet. Además, la implementación de estos recursos TIC consiguió que el 90% de discentes y personal docente utilizasen las plataformas docentes institucionales y que el número de titulaciones no presenciales en España alcanzase ya el 12% de las ofertadas. Asimismo, se cuidó el nivel de competencias relacionado con dichas TIC. Tanto es así, que cuatro de cada diez cursos de formación impartidos en el sistema universitario de España pertenecía al ámbito de las TIC. Sin embargo, y a pesar de que el 90% de las universidades españolas poseía un presupuesto diferenciado para las TIC, solo el 60% puso en marcha un plan de inversiones anual y solo una de cada tres realizó un análisis retrospectivo de sus inversiones en TIC al finalizar el ejercicio (16).

Si nos trasladamos a América Latina, en 2004 se creó la Red Latinoamericana de Portales Educativos (RELPE) mediante un acuerdo alcanzado por 17 países de la región. Dicho acuerdo buscaba "promover el uso de las nuevas tecnologías de información y comunicación al servicio del mejoramiento de la calidad y equidad de la enseñanza mediante el libre intercambio y uso de los recursos digitales localizados en los portales miembros". Esto conllevó la necesidad de establecer diversas acciones entre las que se incluían la capacitación de personal docente en usos pedagógicos y de gestión apoyados en TIC, la incorporación de las TIC en las prácticas pedagógicas (distribución y desarrollo de contenidos educativos para Internet) y la búsqueda de la complementariedad para abordar soluciones a problemas comunes latinoamericanos (17).

Si bien RELPE es una iniciativa interesante que supone un importante avance en política educativa e integración de las TIC, este no supone la existencia de una política sobre las TIC en educación en cada uno de los países de manera individual. En 2008, tan solo ocho países poseían una política nacional encargada de promover el uso de las TIC en las escuelas: Brasil, Chile, Costa Rica, México, Paraguay, Perú, El Salvador y Uruguay (18).

Debemos tener en cuenta también, la existencia de una brecha digital en América Latina. La penetración de los ordenadores y de la conexión a internet en la sociedad de Latinoamérica carece de la difusión existente en Europa. El porcentaje de hogares con acceso a Internet, si bien ha aumentó entre 2005 y 2010 alrededor de un 7%, todavía no superaba el 55% de los hogares (19).

Se ha constatado que el coste asociado al acceso a las TIC es un problema importante a la hora de generalizar la utilización de estas tecnologías. Si se quisiera que la penetración de dichas tecnologías fuera generalizada en las zonas más pobres de países como Uruguay, Costa Rica y México, el coste relacionado con el acceso a las TIC debería reducirse a un 4% del coste que suponía en el año 2009 (20). Sin embargo, el uso de las TIC en el aula puede suponer también un impulso a la educación, ya que si bien el coste de implementación del sistema es enorme en cuanto a material, licencias, mantenimiento y desarrollo, una vez completada esta fase inicial, el

coste de utilización posterior es sensiblemente inferior a la de los sistemas presenciales clásicos (21).

De todos modos, en los últimos años han aparecido en el mercado micro-ordenadores de bajo coste en los que pueden implementarse gran cantidad de herramientas TIC a unos precios muy inferiores a lo habitual antes de su comercialización. Dentro de estas iniciativas podemos englobar el Raspberry-Pi (Rπ, Raspberry Pi Foundation, Reino Unido), Cubieboard (Cubietech Limited, China) o BeagleBone Black (BeagleBoard.org Foundation, EEUU) los cuales, por unos precios entre 30€ y 90€, permiten la instalación de sistemas en los que utilizar herramientas basadas en TIC y además, normalmente, basadas en las Licencias Públicas Generales de GNU (GNU is Not Unix), lo que ayuda a disminuir aún más los costes de implementación de los sistemas al eliminar los gastos asociados a las licencias del software. Estas cantidades muy alejadas del importe de un ordenador estándar o de un servidor deberían ayudar a reducir la "brecha digital" existente entre el mundo desarrollado y los países en vías de desarrollo, aunque la adopción de estos sistemas todavía está por ver.

Además de la reducción económica, tal y como ya se ha comentado, otra gran ventaja de la integración de las TIC en la docencia en Ciencias Veterinarias es la posibilidad de desvincular la docencia práctica o teórico-práctica de la disponibilidad de casos clínicos, y minimizar la utilización de animales.

3.3 Metodologías activas basadas en TIC orientadas a la adquisición de competencias clínicas en Veterinaria

Hasta ahora, el modelo docente que ha imperado en las Facultades de Veterinaria ha sido, en el mejor de los casos, aquel en el que el alumno recibía una serie de clases magistrales pero debía adquirir sus habilidades posteriormente mediante la observación de un profesional con años de experiencia que le transmitiera mediante una "residencia" dicha experiencia profesional (22).

En la actualidad las Facultades de Veterinaria tienden a implementar modelos docentes más orientados a la utilización de casos prácticos, resolución de problemas y que ahonden en la capacidad de aplicación de los conocimientos adquiridos en los estudios de Grado (1). En este contexto, para garantizar una formación de calidad, se torna imprescindible la aplicación de métodos docentes basados en casos prácticos reales.

Sin embargo, en la práctica los gestores académicos se enfrentan a importantes limitaciones logísticas para poder acomodar los horarios teóricos y prácticos de los discentes a la llegada de casos clínicos a las instalaciones universitarias. En muchas ocasiones, cuando los alumnos asisten a dichas sesiones prácticas, carecen de la base necesaria para un aprovechamiento óptimo del caso clínico con el que van a poder trabajar, en la mejor de las situaciones, durante un breve periodo de tiempo.

Según Valcke y Wever (23) la existencia de conocimientos previos es un factor crítico a la hora de adquirir nuevos conocimientos complejos. Así, en la docencia en Ciencias de la Salud, las TIC, y en especial los simuladores, han demostrado ser herramientas eficaces y eficientes en los casos en los que la enseñanza está basada en la resolución de problemas (24). Gracias a la aplicación de estas tecnologías, los alumnos pueden acceder a las sesiones prácticas con los fundamentos conceptuales mínimos necesarios (“qué necesitan saber”), así como contextualizar el desarrollo procedimental de la sesión práctica (“qué van a hacer”) con las expectativas de aprendizaje (“qué van a aprender”). De esta forma, el aprovechamiento de las prácticas es

máximo, consiguiendo así un aumento en la eficiencia del sistema docente y minimizando las horas prácticas presenciales necesarias para adquirir una determinada competencia clínica (25).

Sin embargo, hay que tener cuidado en no caer en la tentación de realizar una sustitución de la docencia práctica tradicional por la docencia práctica basada en TIC. El uso de las TIC debe ser siempre un apoyo para el mejor aprovechamiento de la docencia práctica tradicional. Una sustitución completa de la docencia práctica presencial por una docencia basada en TIC puede producir un descenso en la satisfacción del alumno (23), lo que podría explicar que el nivel de abandono en sistemas docentes basados por completo en TIC es mayor que en sistemas clásicos (21).

Por este motivo, es muy importante analizar la aceptación de las TIC no solo por los docentes, sino también por parte de los discentes. Para realizar este análisis se desarrolló el modelo de aceptación de la tecnología (TAM, technology acceptance model) (26). Este modelo se basaba en dos factores: la facilidad de uso percibida y la utilidad percibida. La facilidad de uso percibida es definida por Davis como el grado en el que el usuario cree que un sistema concreto está libre de esfuerzo, mientras que la utilidad percibida se define como el grado en el que el usuario cree que un sistema concreto mejorará su rendimiento en una determinada tarea.

La correlación entre ambos indicadores resulta ser causal. La utilidad percibida puede ser predicha a partir de la facilidad de uso percibida. De esta forma, el usuario será capaz de encontrar una mayor utilidad si su percepción de la facilidad de uso es alta. Aun así, la utilidad también posee un fuerte efecto sobre la facilidad de uso, de forma que si la utilidad es crítica, el usuario puede superar las dificultades del aprendizaje de uso de la aplicación (27).

Roca y Gagne (28) integraron el uso del TAM con la teoría de la auto-determinación (SDT, self-determination theory). La SDT se basa en tres necesidades de motivación: autonomía, competencia y relación.

- La autonomía se refiere a la sensación de control sobre las acciones tomadas.
- La competencia a la efectividad del individuo en un determinado entorno.
- La relación es la necesidad de sentir que se está conectado con otros, sean compañeros o docentes.

De la combinación de ambos (TAM y SDT) surge la idea de que la autonomía, la competencia y la relación tienen un efecto directo sobre la utilidad percibida y la “entretenibilidad”, que se refiere a lo interesante y entretenido que resulta utilizar la aplicación. A su vez estos dos factores junto con la facilidad de uso percibida confieren los elementos más importantes a la hora de analizar la continuidad e intención de uso de la enseñanza basada en TIC (21, 27).

Si nos introducimos directamente en el mundo de las ciencias biomédicas, y concretamente en Veterinaria, vemos que las metodologías activas basadas en TIC resultan muy útiles, especialmente el uso de simuladores. Estos permiten a los discentes la adquisición de habilidades prácticas en un ambiente estandarizado y seguro sin poner en riesgo la salud de un paciente (29).

3.4 Disponibilidad de herramientas basadas en TIC y simuladores para Ciencias Veterinarias

Si bien en las Facultades de Medicina hace ya algún tiempo que se han introducido los simuladores y las herramientas basadas en TIC, en las Facultades de Veterinaria se están empezando a introducir ahora. Aun así, y gracias a las numerosas similitudes entre la medicina humana y la veterinaria, muchas de estas herramientas son utilizables en ambos contextos (29).

Estas herramientas ofrecen, además, una serie de ventajas sobre el uso de casos clínicos reales: eliminan parte de la presión existente sobre el discente al desaparecer la posibilidad de infligir un daño real, permiten la repetición de las experiencias en condiciones iguales o parecidas, posibilitan identificar los errores cometidos y facilitan reflexionar sobre los mismos.

Sin embargo, y a pesar de lo dicho anteriormente, estas no pueden sustituir por completo la docencia basada en casos clínicos reales, pero permiten la adquisición de una base de conocimientos que resulta esencial para minimizar la dificultad ante la adquisición de conocimientos más complejos (23).

También debemos tener en cuenta diversos factores a la hora de analizar herramientas basadas en TIC que garanticen la transferencia de las competencias previstas. Además de las limitaciones tecnológicas existentes, lo principal es que su diseño debe considerar el tipo de competencias que se pretenden adquirir, las necesidades de aprendizaje de los alumnos y sus habilidades en el uso de TIC (29). En general, cuanto más avanzadas sean las herramientas TIC, mayor es el nivel de las competencias adquiridas por los discentes (30).

A pesar de que los beneficios del uso de este tipo de herramientas son claros, la disponibilidad de las mismas es escasa en el ámbito de la Clínica Veterinaria en general, y de la Clínica Equina en particular. Al realizar una búsqueda en el portal MERLOT (Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching) (31), podemos observar que no son las herramientas más habituales. De las 34.302 entradas existentes en el portal, 12.562 se enmarcan dentro del epígrafe "Ciencia y Tecnología". De estas 12.562, tan solo 2.257 se enmarcan dentro de las ciencias biomédicas. Si analizamos estos 2.257 resultados, 73 entran en la categoría de simuladores, con un grado muy variable de interactividad, y de ellos tan solo uno corresponde al campo de la Veterinaria. Paralelamente, de los 2.257 resultados MERLOT solo cataloga 20 recursos en el área de Veterinaria.

Podemos inferir a partir de estos resultados, que una amplia mayoría de las herramientas TIC incluidas en MERLOT corresponden a repositorios de información (metodologías no activas) y son escasos los recursos basados en metodologías activas.

3.5 Algunos ejemplos de herramientas basadas en TIC aplicables a la clínica equina

Hemos dividido las aplicaciones en dos grandes grupos según la metodología utilizada: "Metodologías Activas" y "Metodologías No Activas". La diferencia entre ambas radica en el grado de implicación que exigen al discente.

En una metodología no activa, el alumno es un mero espectador de la información que se le presenta y en ningún momento debe tomar decisiones. Por otro lado, si se utiliza una metodología activa, se obliga al discente a utilizar los conocimientos adquiridos para adoptar la decisión más adecuada al problema planteado.

En cualquiera de los dos casos pueden existir herramientas de evaluación de los conocimientos adquiridos. Sin embargo, aunque dicha herramienta de evaluación exista y exija una acción por parte del alumno, no debería considerarse como una metodología activa ya que no exige el proceso de integración de la información adquirida, sino simplemente el almacenamiento y acceso a la misma.

En adelante se presenta un pequeño grupo de herramientas TIC de ayuda a la docencia en Veterinaria, y en concreto de la clínica equina, que pueden ser ejemplarizantes respecto al posible uso de las TIC en este campo. Estas herramientas han sido clasificadas en función de la metodología docente utilizada y pueden consultarse o adquirirse en los enlaces proporcionados (URL) así como escaneando los códigos QR (Quick Response) con un dispositivo móvil con dicha función habilitada.

3.5.1 Metodologías no activas sin evaluación

- ***Living Arrhythmias***

Aunque no está directamente enfocado a la clínica equina, es un caso pionero en el uso de TIC en docencia y es utilizable a nivel básico para entender la patología cardiaca en cualquier especie. Es el caso más básico de uso de las TIC y consiste en un vídeo en el que se "personifica" la función del corazón en los distintos tipos de arritmias. Realizado por el Dr. John C Grammer en el hospital St. Paul de Texas en 1980, carece por completo de un apoyo teórico o de un sistema de evaluación, simplemente simplifica la información transmitida para mejorar su aprovechamiento por parte de unos discentes a los que se les supone una elevada base teórica. Sin duda, se trata de una herramienta innovadora en su tiempo, y por ello creemos que debe ser citada como un ejemplo pionero del uso de las TIC en el ámbito de la educación de las Ciencias de la Salud.

URL: https://www.youtube.com/watch?v=iaZV38MWhU0

- ***Glass horse***

The Glass Horse es un producto desarrollado entre 1999 y 2008 y dividido en cuatro bloques: el primero sobre la anatomía abdominal equina, el segundo sobre el cólico equino, el tercero sobre el cólico equino enfocado al dueño del animal y el último sobre la parte distal de las extremidades.

Este producto se centra en dos aspectos muy importantes de la patología equina: el sistema digestivo y el cólico por un lado, y la patología de las extremidades y las cojeras por otro.

En todos los casos, The Glass Horse consiste en una recreación CGI 3D (Computer Generated Imagery en tres dimensiones) de la anatomía del caballo, sin imágenes reales en ningún caso. Consta, inicialmente, de un recuerdo anatómico donde los discentes pueden reforzar los conocimientos sobre las distintas estructuras. Posteriormente, y en el apartado de patologías, el programa muestra una animación en la que se observan los mecanismos y procesos que se producen durante la aparición de los procesos patológicos.

Si bien no se trata de la aplicación de una metodología activa, sí que permite aplicar los conocimientos de varias disciplinas y observar los procesos patológicos en primera persona. De

esta manera, permite reforzar los conocimientos de los alumnos sobre el tema, interrelacionando los conocimientos de varias áreas y asignaturas. Sin embargo, no permite evaluar los conocimientos adquiridos por el discente ni ofrece formas de interactuar con los casos mostrados.

URL: http://www.3dglasshorse.com

- ***Mapas anatómicos equinos interactivos:***

Interactive Drawings for Veterinary Anatomy

La aplicación muestra una serie de láminas anatómicas y de fotografías de disecciones de diversas especies en las que, al hacer clic con el ratón, se ilumina la zona de interés mostrando su nombre.

La herramienta no aplica ninguna metodología activa y es un mero repositorio de información anatómica. Sin embargo, como refresco de dichos conceptos puede venir bien como apoyo a otras aplicaciones.

URL: http://www.images4u.com/

Learning from Stubbs

Al igual que la anterior, consiste en una herramienta *online* para el aprendizaje de la anatomía. En este caso se basa en el aprendizaje de los huesos del caballo. La aplicación muestra un esqueleto y numerosas etiquetas que deberán ser situadas por el alumno en la situación correcta. Posteriormente al corregir, el discente puede saber en cuales ha acertado y en cuáles no.

Si bien es más activa que la anterior y posee un sistema de evaluación, no deja de ser un repositorio anatómico que puede servir como apoyo a otras aplicaciones más complejas.

URL: http://www.rvc.ac.uk/Review/Dragster/index.cfm

- ***Foal in Mare***

Se trata de una aplicación enfocada al aprendizaje del desarrollo del feto durante la gestación así como del parto en yeguas. Al igual que en el caso de "The Glass Horse", se trata de una colección de vídeos sin apoyo de imagen real en los que se muestran los estadios de desarrollo fetal y la evolución de la gestación en las yeguas.

El potencial docente de la aplicación es muy elevado ya que proporciona explicaciones claras con un apoyo visual adecuado. Debido a su diseño no permite ninguna interacción por parte del discente, aparte de elegir que estadio de la gestación o qué proceso patológico quiere ver. Carece de método de evaluación, dejando en manos del alumno tanto la visualización de todo el material como la valoración de si la adquisición de conocimientos ha sido correcta.

URL: http://www.foalinmare.com

- ***Equad***

Equad es una herramienta para el aprendizaje de seis enfermedades de las vías respiratorias altas del caballo, diferenciadas entre faringe y laringe. En la faringe abarca el desplazamiento dorsal del paladar blando y la hiperplasia linfoide faríngea. En la laringe, se centra en la hemiplejia laríngea idiopática (actualmente denominada neuropatía del laríngeo recurrente), el atrapamiento epiglótico, la desviación axial del pliegue aritenoepiglótico, y los quistes subepiglóticos. El grado de información proporcionado de cada proceso es variable, aunque, incluso en el caso menos desarrollado, consta de suficiente material gráfico (incluyendo tanto fotografías como vídeos), de diagnóstico y de etiología, como para poder describir correctamente los cuadros clínicos correspondientes.

Aunque la herramienta posee una carga docente elevada y de buena calidad, carece por completo de capacidad de interacción por parte del usuario, aparte de poder elegir uno u otro tema. Carece también de herramientas de evaluación, dejando en manos del discente la valoración de esta.

URL: http://www.equad.uzh.ch/

3.5.2 Metodologías no activas con evaluación

- ***Passing a Nasogastric Tube in the Horse***

Esta herramienta está diseñada para la adquisición de una técnica concreta, en este caso la habilidad de la colocación de una sonda nasogástrica en un caballo. La aplicación es sencilla y sus objetivos de aprendizaje están claramente definidos. En ella se proporciona inicialmente un recuerdo anatómico de la zona en la que se va a trabajar así como la descripción de los motivos por los que debería ser utilizada la técnica. Posteriormente, muestra varios vídeos e imágenes sobre la misma incidiendo en las diversas complicaciones posibles que pueden aparecer durante su realización.

A pesar de tener un buen diseño, no deja de ser un repositorio teórico con imágenes y vídeos sobre la técnica concreta permitiendo al alumno adquirir la base de conocimiento necesaria para realizar la misma y evaluando posteriormente si los conocimientos han sido adquiridos mediante una serie de preguntas corregidas por la aplicación en las que se especifica el motivo del error, en caso de haberlo. Sin embargo, no ofrece más capacidad de interacción aparte de esa, por lo que la sensación de implicación de los discentes puede no ser muy elevada.

URL: http://www.vetvisions.com/p221.htm

- ***Techniques in Equine Medicine***

La aplicación “Techniques in Equine Medicine” es una herramienta docente desarrollada en la Universidad de Saskatchewan (Canadá) para el aprendizaje de diversas técnicas aplicables a la medicina equina (lavado transtraqueal, pleurocentesis, abdominocentesis y colecta de líquido cefalorraquídeo: generalidades, en articulación atlanto-occipital y lumbo-sacra y manejo de muestras). Para cada una de las técnicas la aplicación incorpora vídeos explicativos acerca de cómo llevarlas a cabo, indicaciones

y contraindicaciones de las mismas, un recuerdo anatómico, descripción exhaustiva de la técnica, errores y complicaciones típicas e interpretación de los resultados. La aplicación posee cuestionarios para evaluar si los conocimientos transmitidos han sido correctamente adquiridos o no por el discente, tanto dentro de cada técnica como posteriormente en un anexo. La aplicación está bien diseñada y muestra de forma clara los conceptos que quiere transmitir, con un apoyo teórico muy bueno.

URL: http://www.vetvisions.com/p231.htm

- ***Questions and Answers – Equine cases and Anaesthesia***

Es un ejemplo de una metodología frecuentemente utilizada basada en la presentación de distintas situaciones clínicas y la formulación de preguntas relacionadas, siguiendo los procedimientos llevados a cabo por algunos docentes en sesiones presenciales donde, tras la explicación de un determinado concepto, se pregunta a alguno de los asistentes por la solución.

Creado por la University of Edinburgh (Reino Unido), esta herramienta consiste en un sistema de evaluación guiado que requiere unos conocimientos previos bien asentados por el alumno. Presenta una serie de casos clínicos y tras una breve exposición sobre ellos realiza una pregunta. Posteriormente, cuando se pulsa una tecla, la aplicación muestra la respuesta y pregunta al usuario si la respuesta emitida es correcta o no lo es.

Debido al diseño de la aplicación es muy difícil de utilizar en el aula. Sin embargo, es una idea que hoy día podría ampliarse y mejorar gracias a la tecnología existente. Si se compagina una aplicación de este tipo con el uso de mandos a distancia interactivos (por ejemplo, Educlick) podría construirse una herramienta de evaluación en la que se amplía la técnica mencionada anteriormente hasta la totalidad del aula. De este modo, el docente puede comprobar si la transmisión de conocimientos es adecuada y si se consigue una penetración de los mismos en los discentes correcta, o incluso puede realizar una evaluación de los alumnos mediante la presentación de casos clínicos y la identificación de cada discente con un mando, y por lo tanto, con una respuesta. De este modo además, convertimos una herramienta que utiliza una metodología no activa, en una que utiliza una metodología activa y que obliga al alumno a tomar decisiones.

URL: http://oslovet.norecopa.no/produkt.aspx?produkt=4886

3.5.3 Metodologías activas

- ***Educlick***

En este caso es una mezcla de herramienta que permite la aplicación de metodologías activas y pasivas. El sistema Educlick permite implementar preguntas en presentaciones interactivas para posteriormente realizar las preguntas a los discentes en el aula.

Los alumnos responden a las preguntas con el uso de unos mandos y en función de la programación realizada se pueden almacenar datos globales o individuales de cada alumno. En ese caso es necesario un mando por usuario.

El potencial del sistema es muy elevado y los mayores frenos para su implantación en el aula son la falta de ganas del personal docente por integrarlo en sus clases y la falta de presupuesto para su adquisición.

URL: http://www.educlick.es

- ***Diseases of Horses: A Series of Simulations***

Desarrollado por Jonathan M. Naylor en la Universidad de Saskatchewan (Canadá), este simulador propone una serie de casos clínicos al discente con apoyo de imágenes para resaltar conceptos concretos. La aplicación informa primero acerca del caso a resolver dando varias opciones y guiando al alumno a lo largo del proceso. La aplicación permite además mostrar en tiempo real la puntuación conseguida por el usuario así como el dinero gastado por el profesional para llegar al diagnóstico y tratamiento. De este modo, el usuario puede evaluar si ha llegado a un diagnóstico correcto y el coste que le ha supuesto llegar hasta el mismo. La aplicación también muestra una explicación acerca de por qué la respuesta es correcta o incorrecta en cada caso.

Esta herramienta, por lo tanto, utiliza una metodología activa que obliga al usuario a tomar decisiones a la par que las evalúa. Sin embargo, es difícil su uso en el aula ya que no está preparada para admitir la respuesta de varias personas diferentes a la vez.

URL: http://www.vetvisions.com/p251.htm

- ***Simulacros de Sanidad Animal***

Los simulacros de Sanidad Animal de la Red de Alerta Sanitaria Veterinaria (RASVE) son herramientas multimedia de libre acceso desarrolladas por el Centro de Investigación VISAVET de la Universidad Complutense de Madrid (España) en colaboración con el Ministerio español de Agricultura, Pesca y Alimentación. De los tres ejercicios disponibles, el tercero corresponde a un brote de fiebre del Nilo Occidental (West Nile fever).

En dichas herramientas se nos plantea un supuesto práctico. En él, un ganadero requiere los servicios de los veterinarios por un posible brote infeccioso que debe ser estudiado. El discente debe llevar a cabo una serie de pasos para poder diagnosticar correctamente el brote, mientras es guiado por la aplicación. De este modo, tiene que decidir los pasos a llevar a cabo, el material a utilizar, las preguntas que debe formular al responsable de la explotación, las pruebas diagnósticas que hay que llevar a cabo y el orden de realización.

La herramienta está muy bien diseñada mostrando un protocolo normalizado de trabajo que contempla todos los factores relevantes. Además, permite al discente elegir una gran cantidad de factores y le corrige acerca de las decisiones tomadas. Sin embargo, el apoyo teórico ofrecido es más bien escaso, por lo que si el alumno tiene alguna duda no tiene la posibilidad de apoyarse en él para avanzar. Por otro lado, en algunos casos los requerimientos de los ejercicios son vagos y, al carecer de la posibilidad de autocorrección, el discente puede verse bloqueado en alguna ocasión no pudiendo avanzar, lo que contribuye a su frustración.

URL: http://www.sanidadanimal.info/sanidadanimal/es/cursos/simulacros.html

- ***The Six Second ECG***

Se trata de una herramienta web de libre acceso para la adquisición de la habilidad de interpretación de gráficas de electrocardiograma, tanto fisiológico como en veinticuatro alteraciones cardiacas que pueden observarse en cualquier especie de mamífero, siendo por lo tanto perfectamente utilizable en la docencia de la clínica equina.

La herramienta posee dos modos de funcionamiento: aprendizaje y juego. En el modo de aprendizaje, al pulsar sobre cada caso la aplicación muestra una pequeña explicación al respecto, así como una animación con información sobre el ritmo cardiaco concreto.

En el modo juego la aplicación permite configurar la duración del mismo entre 1 y 8 minutos. Durante ese periodo de tiempo la herramienta le presenta al alumno una serie de casos en los que tiene que identificar la alteración del ritmo cardiaco mostrada por el electrocardiograma.

En función de las respuestas del discente, la aplicación muestra el número de respuestas, el número de aciertos y el tiempo restante. La aplicación también permite congelar el electrocardiograma, momento en el cual se observa un fondo cuadriculado para ayudar en su interpretación.

Esta herramienta muestra una metodología activa en la que el alumno puede adquirir inicialmente los conocimientos necesarios, posteriormente desarrollar la competencia buscada, y por último evaluar si realmente ha conseguido el objetivo buscado.

Como punto débil deberíamos apuntar a un escaso apoyo teórico, ya que la explicación para cada ritmo cardiaco es realmente parca.

URL: http://www.skillstat.com/tools/ecg-simulator

- ***The Emergency Case Simulator***

La aplicación presenta tres casos de urgencia veterinaria canina de diferentes naturalezas. A pesar de no ser una aplicación con casos de medicina equina, puede resultar útil para aprender el manejo inmediato de emergencias y la estabilización del paciente. Una vez expuesto el caso, la aplicación permite la toma de decisiones por parte del usuario como si fuera un clínico y se estuviera enfrentando al caso en la realidad. La herramienta posee un sistema de limitación de errores basado en la "vida" del animal que se está tratando, de manera que, conforme se acierta en las pruebas la vida del animal aumenta, y cuando se yerra disminuye. En cada toma de decisiones, la aceptación o no de una técnica viene argumentada por parte del sistema. Además, la aplicación no solo tiene en cuenta si la respuesta es correcta o incorrecta sino también el orden en el que se toman las decisiones. La aplicación posee también unas notas clínicas para poder leer toda la información acerca del caso.

Es una herramienta diseñada para discentes en las etapas finales de la titulación, ya que posee poca información acerca de "qué hacer" y basa todo en los conocimientos del usuario. De este modo, si el usuario no posee una amplia y sólida base puede ser una aplicación frustrante para el mismo. Es una aplicación que utiliza una metodología activa y un sistema de evaluación diferente, que aumenta la presión sobre el usuario al no permitir una cantidad de errores indefinida y marca claramente que la suma de dichos errores acaba con la muerte del paciente.

Esta herramienta puede utilizarse en el aula como herramienta colaborativa en la que el profesor guíe a los alumnos en la toma de decisiones ya que no es posible comparar el uso que diferentes discentes hayan realizado de la misma.

URL: http://www.rvc.ac.uk/review/Cases/Index.cfm

- ***Bodysim anaesthesia (Humansim anaesthesia)***

No hemos encontrado una aplicación equivalente en anestesia equina, pero incluimos esta aplicación como posible modelo a seguir para desarrollar competencias en anestesia equina. Humansim anaesthesia es un avanzado simulador multimedia para el manejo anestésico de pacientes orientado a medicina humana. Es una de las herramientas más ambiciosas que hemos localizado ya que simula una actividad tan compleja como es la anestesia pre e intra quirúrgica.

Permite tomar las decisiones necesarias, desde las vías a acceder, hasta los fluidos y fármacos a administrar o los procedimientos a llevar a cabo. También muestra la interacción con el resto del personal presente en el quirófano y plantea problemas que pueden aparecer durante la cirugía obligando al usuario a reaccionar ante ellos.

Es un simulador realmente completo, que permite trabajar con gran cantidad de supuestos y la administración de muchos fármacos diferentes así como el control de numerosos supuestos prácticos.

Sin embargo, debido a su gran amplitud el alumno debe tener una base de conocimientos muy amplia ya que la tutela del usuario en un supuesto tan avanzado es nula. Por esto, si no hay una formación previa suficiente el discente se puede sentir completamente perdido. Además, su elevado precio hace que no tenga la penetración que sería ideal entre los alumnos de grado.

URL: http://www.humansim.com

- ***Lap mentor y Angio mentor***

En este caso estamos ante un salto cualitativo importante en el mundo de las herramientas TIC y los simuladores. En ambos casos se trata de unos simuladores avanzados creados por la casa Simbionix en el ámbito de la medicina humana que pretenden conseguir la docencia de técnicas quirúrgicas mínimamente invasivas como son la cirugía laparoscópica y la radiología intervencionista. Los casos presentes en estos simuladores no están basados en la práctica de la veterinaria equina, pero lo que pretenden es la docencia de postgrado de técnicas quirúrgicas avanzadas, cuyas bases pueden ser aprendidas sobre cualquier tipo de cirugía ya que lo que se busca es el dominio de maniobras básicas de esas técnicas quirúrgicas.

Poseen una parte física en ambos casos, por lo que no se trata de aplicaciones multimedia sino de simuladores propiamente dichos. Implementan numerosos casos prácticos que son evaluados mediante un informe sobre el recuento de errores y el tiempo requerido en cada uso, lo que permite compararlo con usos anteriores del mismo.

Una vez más el principal problema radica en que carecen por completo de apoyo teórico y de guía de ningún tipo. No son herramientas pensadas para legos en la materia, sino para expertos que quieran adquirir los conocimientos sobre una nueva técnica o intervención concretas.

Como gran inconveniente, se encuentra su elevadísimo precio que impide pensar en su adquisición desde el punto de vista de un usuario particular, sino tan solo a nivel de una institución potente. Este alto coste también se convierte en un *handicap* para el desarrollo de simuladores similares en el ámbito veterinario.

URL: http://simbionix.com/

- ***da Vinci Skills Simulator***

En línea con el anterior, se trata de un módulo adaptable al robot da Vinci de Intuitive Surgical. Como en el caso del anterior no está poblado con casos de clínica equina, pero es una herramienta eficaz para el dominio del uso del robot daVinci y el aprendizaje de las maniobras básicas en la cirugía robótica. Una vez instalado permite utilizar la consola del robot para realizar ejercicios de práctica y cirugías en entornos virtuales.

Requiere tener el robot en propiedad y está pensado sobre todo como tutorial para aprender su manejo. De todos modos, emite un informe de desempeño al profesional por lo que puede ser una herramienta muy útil para profesionales que quieran iniciarse en el mundo de la cirugía robótica.

Al igual que en el caso anterior, el gran inconveniente es la necesidad de adquirir una infraestructura de elevado precio, lo que lo sitúa fuera del ámbito docente de grado.

URL: http://www.intuitivesurgical.com/products/skills_simulator/

- ***Malaria Spot***

En este caso se trata de un curioso ejemplo de *crowdsourcing* en el cual se distribuye y socializa un problema médico real como es, en este caso, el diagnóstico de malaria en el mundo.

Mediante una serie de muestras iniciales forma al usuario en el diagnóstico de esta enfermedad, presentándole posteriormente unas serie de muestras reales para que siga “jugando” (32).

A pesar de no tener relación alguna con veterinaria ni con la clínica equina, la “socialización” del problema y la búsqueda de soluciones a problemas del mundo real mediante la *gamificación* es algo que debería tenerse en cuenta por su posibilidad de aplicación en otros campos.

URL: http://www.malariaspot.org/

- ***Foldit***

Otro curioso proyecto de docencia e investigación simultáneas sin relación alguna con la docencia en veterinaria equina. Es un programa que explica cómo funciona el plegamiento de proteínas mediante una serie de ejemplos interactivos.

Posee una serie de puzles para enseñar el funcionamiento de la aplicación.

El sistema funciona a la vez como proyecto de investigación porque los puzles de nivel más elevado son proteínas sobre las que realmente falta información acerca de su plegamiento por lo que, nuevamente, es una forma de "socializar" el problema y buscar, con un enfoque de *crowdsourcing*, que alguien en algún sitio dé con la solución.

A pesar de no tener relación alguna con la veterinaria equina, el innovador enfoque de resolución de problemas mediante el uso de redes sociales y *gamificación* es algo a tener en cuenta y que debería extenderse a otros campos.

URL: https://fold.it/portal/

3.6 Limitaciones y tendencias futuras

Las herramientas basadas en TIC son un gran apoyo para la docencia de la Veterinaria al permitir desvincular la existencia de "casos prácticos reales" de la asistencia de los mismos a las instalaciones de las facultades o de los discentes a las instalaciones ganaderas (33).

Sin embargo, debemos evitar la tentación de sustituir la docencia con casos prácticos reales por la realizada a través de estas herramientas. Deben ser siempre un complemento a la docencia con casos, bien para afianzar los conocimientos adquiridos con los casos clínicos, o bien para permitir al alumno afianzar unos cimientos y por lo tanto aprovechar al máximo estos casos clínicos (34).

Hay que prestar también una gran atención a la hora de desarrollar estas herramientas, ya que debemos seleccionar y/o desarrollar aplicaciones que utilicen metodologías activas y que permitan (y obliguen) al alumno a aplicar conocimientos adquiridos anteriormente, que ayuden a relacionar conceptos de distintas áreas y que le hagan sentir al discente protagonista en la toma de decisiones (35).

También debemos prestar atención al grado de tutela que llevan estas herramientas, ya que si el alumno tiene el camino demasiado guiado no prestará la atención adecuada y acabará por realizar las tareas de forma mecánica. Sin embargo, si se encuentra sin ningún tipo de guía puede frustrarse al no saber qué decisiones tomar (36).

Por tanto, una herramienta TIC ideal sería aquella que poseyera inicialmente un apoyo teórico suficiente, con los conocimientos que el discente va a tener que aplicar para la resolución de las cuestiones que más tarde le serán planteadas. Posteriormente, debería tener objetivos claramente definidos (realización de una prueba diagnóstica, diagnóstico de un proceso patológico concreto…) para evitar un abandono de la actividad motivada por un desconocimiento del objetivo o una excesiva amplitud del mismo. La herramienta debería contar tanto con un modo de entrenamiento como con un modo de evaluación. De esta manera, el alumno puede aprender inicialmente la actividad a realizar y posteriormente aplicarla. Y por último, debe contar con una colección de casos lo bastante amplia como para que el alumno no memorice sus soluciones sino que aprenda a aplicar las herramientas de las que dispone (4, 37).

3.7 Premisas y requerimientos para el desarrollo e implementación de aplicaciones basadas en TIC

El software es una de las tecnologías más importantes a día de hoy. Durante los últimos 60 años se ha convertido en una parte indispensable de la tecnología y se encuentra embebido en sistemas de todo tipo (dispositivos de transporte, médicos, telecomunicaciones, militares, industriales, de entretenimiento, de oficina...). Los usuarios, todos nosotros, estamos confiando nuestros trabajos, confort, seguridad, entretenimiento, decisiones y nuestras propias vidas al software. Por este motivo, es tan importante que el diseño sea bueno y su calidad alta (38).

A lo largo de estos años, hemos podido ver distintos casos en los que errores de software mínimos han supuesto catástrofes en las que se han perdido desde millones de euros en equipamiento hasta vidas humanas.

Uno de los primeros errores documentados fue la pérdida de la sonda Mariner 1 de la NASA en 1962, que tuvo que ser detonada al perder el control de la trayectoria del cohete debido a la falta de un guion en el código (39). Posteriormente, la URSS en 1988 lanzaría la sonda Phobos 1 a la que se le envió un “+” en lugar de un “-” por lo que orientó sus paneles solares de espaldas al Sol, descargando las baterías y quedando inutilizada (40). En 1996, la ESA utilizó el software de guiado del Ariane 4 en el Ariane 5, sin tener en cuenta que la velocidad era diferente. Esto hizo que una variable fuera tan grande que el software no estaba diseñado para poder manejarla, lo que causó una variación de trayectoria que llevó a la desintegración de la nave y la pérdida de 370 millones de dólares (41). Unos años más tarde, en 1999, la USAF (United States Air Force) lanzó en abril una lanzadera Titan IV B-32 que, debido a una constante introducida de forma errónea, situó el satélite MILSTAR-3 en una órbita incorrecta e inútil por lo que tuvo que ser apagado sufriéndose unas pérdidas de alrededor de 1.233 millones de dólares (42). Y en diciembre, la Mars Polar Lander de la NASA se estrelló en la superficie de Marte debido a un fallo de interpretación de los sensores (43, 44).

Si bien estos ejemplos son económicamente dramáticos, hay casos aún peores en los que lo que se ha perdido han sido vidas humanas. El 25 de febrero de 1991 en la Guerra del Golfo un misil Scud impactó sobre unos barracones causando 28 muertos y 97 heridos porque el sistema antimisiles no estaba diseñado para operar de forma continua y su puntería se desviaba infinitesimalmente cada milisegundo (44). Otro caso parecido fue descubierto hace poco en el software de las unidades de control de los generadores de los motores del Boeing 787 "Dreamliner". En este caso, si el motor estuviera encendido durante más de 248 días la unidad de control pasaría a modo a prueba de fallos perdiendo dicho motor el aporte de corriente eléctrica en cualquier fase de vuelo (45).

En el campo de la medicina, uno de los accidentes más estudiados es el de la máquina de radioterapia Therac-25, de la empresa canadiense AECL. Este era un acelerador lineal que utilizaba un software basado en la máquina anterior, el Therac-20. Esta máquina más moderna era más barata, versátil y compacta que la anterior y, entre otras mejoras de seguridad, se habían eliminado los interruptores de control sustituyéndolos por controles de software. En el momento de su producción, AECL carecía de ningún tipo de control de calidad sobre su software y no probaba en ningún momento el software y el hardware juntos hasta su instalación en un hospital. Esto llevó a una serie de errores en el diseño del software que finalmente causaron seis accidentes provocados por dos errores diferentes y debido a los cuales los pacientes fueron sometidos a dosis masivas de radiación. En tres de los casos los accidentes acabaron siendo mortales (44, 46, 47).

Tampoco debemos olvidar la posibilidad de utilizar el software y su capacidad de análisis de situación para cometer fraudes, como tristemente nos ha demostrado Volkswagen. Esta compañía programó sus coches para detectar cuándo eran sometidos a pruebas de laboratorio. En ese momento, conectaba una serie de controles de software que mantenían las emisiones en rango de normativa. En cuanto el coche salía a carretera, elevaba sus emisiones entre 10 y 40 veces por encima de los valores indicados por la *Clean Air Act* de Estados Unidos (48).

Todos estos ejemplos nos hacen plantearnos la necesidad de utilizar técnicas de ingeniería de software que nos aseguren una elevada calidad del mismo en un periodo de tiempo estimable. Para ello debemos definir un proceso de software que consistirá en una serie de pasos predecibles que dibujarán un "mapa del desarrollo del software" (38).

3.8 El software ideal

Para crear software de calidad, a la hora de desarrollar una aplicación, debemos tener en cuenta cuáles son las características que debe tener un software ideal para acercarnos a ellas en la medida de lo posible.

Las definiciones existentes de "buen software" tienden a ser cuando menos generales al definir un software ideal como aquel que entrega la funcionalidad y rendimiento requeridos al usuario y debería ser posible de mantener, confiable y utilizable (49) o como aquel que se aplica de forma que crea un producto útil que provee de un valor medible a aquellos que lo producen y a aquellos que lo usan (38).

En algunos casos se analiza en más profundidad lo que sería esperable de un software ideal. Garvin propuso en un campo más abstracto y generalista ocho factores de calidad que debían observarse a la hora de desarrollar un producto de cualquier tipo. Estos factores no son sinérgicos entre sí y el desarrollo de algunos de ellos solo puede conseguirse sacrificando otros. Las "ocho dimensiones" propuestas por Garvin (50) son:

Rendimiento: Se refiere al cumplimiento por parte del producto de sus características principales. Se basa en atributos objetivos mensurables que deben escogerse en función del objetivo del producto.

Características: La segunda dimensión de calidad propuesta se basa precisamente en las características secundarias de un producto, los "extras". Esa serie de características que complementan el "rendimiento" ampliándolo y mejorándolo. Muchas veces es complicado separar los atributos de ambas dimensiones.

Fiabilidad: Esta dimensión refleja la posibilidad de que un producto falle en el desempeño de sus funciones. Esta dimensión ha ido cobrando importancia conforme los mantenimientos y tiempos de espera han ido encareciéndose.

Conformidad: Es el grado en el que un producto cumple con una serie de estándares establecidos. Se corresponde con el concepto más clásico de calidad. Aquí habría que considerar el protocolo de calidad de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO por sus siglas en inglés) del cual hablaremos más adelante.

Durabilidad: Se refiere a la vida útil de un producto hasta su degradación y la posibilidad de reparación del mismo. En el caso concreto del software, Pressman (38) propone modificarlo haciendo referencia a la posibilidad de realizar mantenimiento y correcciones (*debugging*) del mismo sin producir una disminución de la fiabilidad.

Facilidad de mantenimiento: Hace alusión a la facilidad con la que el producto puede repararse y el tiempo que transcurre hasta la recuperación del servicio. Hay que tener en cuenta que se mezclan muchos conceptos diferentes al hablar de esta dimensión, tanto objetivos como subjetivos ya que las reacciones al tiempo de interrupción del servicio dependen mucho del entorno de uso del producto.

Estética: Hace mención al aspecto del producto y es una de las dos dimensiones más subjetivas de esta clasificación porque no es universal y depende mucho del consumidor del producto y del nicho de mercado.

Calidad percibida: La última de las dimensiones de la calidad y tan subjetiva como la anterior. El cliente final no tiene forma de medir objetivamente dimensiones como la durabilidad (por ejemplo) y debe usar criterios ajenos al mismo. Una gran parte de la calidad percibida es directamente derivada de la fama de la marca o la persona que ha elaborado el producto.

Otra forma de clasificar o medir la calidad del software sería la propuesta por McCall (51). En ella define una serie de factores agrupados en tres grandes "actividades":

- Revisión:
  - Facilidad de mantenimiento: Posibilidad de reparar errores.
  - Flexibilidad: Posibilidad de modificar el software.
  - Capacidad de testeo: Capacidad de realizar pruebas para buscar errores y asegurar la funcionalidad buscada.
- Transición:
  - Portabilidad: Posibilidad de trasladar el software a otras máquinas y sistemas.
  - Reusabilidad: Posibilidad de reutilizar todo o partes del software para desarrollar otro software.
  - Interoperabilidad: Posibilidad de integrar el software en otro sistema.
- Operación:
  - Corrección: Determinación de hasta qué punto el software hace lo que se espera que haga.
  - Fiabilidad: Determinación de hasta qué punto hace siempre hace lo que se espera de él
  - Eficiencia: Necesidades de hardware para poder utilizar el software.
  - Integridad: Seguridad de que solo lo usarán aquellos autorizados para ello.
  - Usabilidad: Dificultad de aprendizaje, facilidad de uso y de entendimiento de los resultados.

Inicialmente, el mayor énfasis siempre se daba a la operación, realizándose pruebas para evaluar factores como la corrección y la fiabilidad. Sin embargo, posteriormente se observó que los costes de mantenimiento y rediseño llegaban a exceder los del desarrollo inicial, y que el coste de reparar un error cuando un sistema se encontraba funcionando podía multiplicarse por 30 frente a hacerlo durante la fase de validación. Por todo ello cobró más importancia la flexibilidad y la facilidad de mantenimiento (51).

Además, tenemos que tener en cuenta que el público al que va dirigido el software no siempre es un público técnico que sepa utilizar correctamente un recurso informático. Por ello debemos tener en cuenta otra serie de factores si queremos desarrollar algo para todos los públicos como son (52):

- Intuitividad para el nuevo usuario.
- Eficiencia para el experto.
- Robusto ante usos no esperados.
- Fácil recuperación ante errores de manipulación.
- Rico en funciones para el usuario.

Recogiendo todos estos conceptos, se redactó un estándar por parte de la ISO (ISO/IEC 9126:2001) que en 2011 fue modificado con el estándar ISO/IEC 25010:2011(53), este último estándar divide en dos los puntos a tener en cuenta: el software como producto y su uso.

El último estándar tiene ocho características subdivididas a su vez (53):

- Idoneidad Funcional: Es el grado en que el producto cumple las funciones para las que ha sido diseñado. Se subdivide en idoneidad, precisión, interoperabilidad y seguridad.
- Fiabilidad: Es el nivel de cumplimiento de las funciones especificadas bajo unas condiciones y durante un tiempo concreto. Se subdivide en madurez, tolerancia a fallos y recuperabilidad.
- Operabilidad: Estudia hasta qué punto el producto puede ser comprendido, aprendido, usado y es atractivo para el usuario bajo unas condiciones concretas. Se subdivide en adecuación, reconocibilidad, facilidad de uso, aprendibilidad, atracción y accesibilidad técnica.
- Eficiencia del rendimiento: Analiza el rendimiento relativo a los recursos disponibles. Se subdivide en comportamiento en el tiempo y uso de recursos.
- Seguridad: Determina el grado de protección de la información y los datos de forma que personas no autorizadas no puedan leerlos o modificarlos mientras que las personas autorizadas tengan acceso a los recursos disponibles. Se subdivide en confidencialidad, integridad, no-rechazo, responsabilidad y autenticidad.
- Compatibilidad: Estima la posibilidad de que dos o más sistemas o componentes puedan intercambiar información y realizar las funciones requeridas compartiendo el mismo hardware o entorno de software. Se subdivide en reemplazo, coexistencia e interoperabilidad.
- Mantenimiento: Estudia la facilidad con la que puede modificarse el software. Se subdivide en modularidad, reusabilidad, analizabilidad, posibilidad de cambio, estabilidad de modificación y analizabilidad.
- Transferibilidad: Analiza la facilidad con la que el software puede transferirse de un entorno de hardware y software a otro. Se subdivide en portabilidad, adaptabilidad e instalabilidad.

Por otro lado, se ha definido también un estándar de calidad de uso del software que está formado por las siguientes cinco características con sus subcaracterísticas (53):

- Efectividad: Grado de precisión y plenitud con el que los usuarios alcanzan unos objetivos.
- Eficiencia: Recursos necesarios en relación con el grado de precisión y plenitud con el que los usuarios alcanzan unos objetivos.
- Satisfacción: Grado de satisfacción que alcanzan los usuarios al utilizar el software. Se subdivide en agradabilidad, placer, confort y confianza.
- Seguridad: Estudia si el uso del producto puede llegar a poner en riesgo la vida humana, salud, propiedades o medio ambiente. Se subdivide en riesgo de daño económico, riesgo de salud y seguridad y riesgo de daño ambiental.
- Usabilidad: Determina hasta qué punto puede utilizarse el software para alcanzar unos objetivos con eficiencia, eficacia y satisfacción en un determinado contexto. Se subdivide en aprendibilidad, flexibilidad, accesibilidad y conformidad con el contexto.

A modo de conclusión, y analizando estos estándares de calidad, podemos observar que de forma constante se buscan una serie de cualidades del software ideal que serían:

- Eficaz y eficiente tanto desde el punto de vista del hardware como del usuario.
- Compatible con el máximo número posible de plataformas o, en su defecto, fácil de portar de unas a otras.
- Facilidad en la búsqueda de errores y en su solución así como reusabilidad de todo o parte del software. Esto último se consigue mediante una modularidad del software en el que se compartimenten las funciones para poder saber de forma relativamente sencilla qué función o módulo es el que falla o hay que cambiar, lo cual también contribuye a que el software sea escalable pudiendo crecer modificando solo determinados módulos y disminuyendo la interrupción del servicio durante el mantenimiento.
- Robusto y tolerante a fallos con una alta capacidad de recuperación en caso de ocurrir alguno.
- Seguro para que solo accedan al mismo las personas autorizadas y no haya riesgo de seguridad alguno.

Una vez sabemos qué características buscamos en un software ideal el siguiente paso es desarrollar la aplicación. El desarrollo de software es un proceso con tres grandes fases diferenciadas (51):

- Especificación y análisis de requerimientos: En esta primera fase intentaremos definir qué quiere el cliente, cuánto tiempo debe durar el desarrollo, cuánto debe costar y modelar la aplicación.
- Desarrollo de software: Esta segunda fase se encuentra a su vez dividida en tres sub-fases que serían el diseño de la aplicación, la codificación de la aplicación y la validación de la misma. Esta fase (con sus tres sub-fases) puede además dividirse en otras tres:
    - Desarrollo de la lógica y los algoritmos de la aplicación: En la que se diseñará, codificará y validará el *back-end* de la aplicación (la parte encargada de tratar los datos y relacionarlos entre sí).

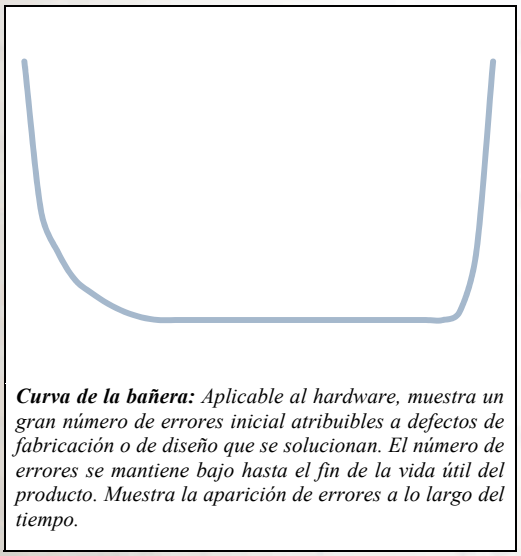
- Desarrollo de los datos de la aplicación: Corresponde al diseño, codificación y validación del entorno de datos de la aplicación, donde se determinarán qué datos se van a almacenar y la forma de hacerlo generando las bases de datos pertinentes.
- Desarrollo de la interfaz: Abarca el diseño e implementación de la interfaz gráfica de usuario (GUI por sus siglas en inglés) que se encontrará el usuario cuando acceda a la aplicación.

- Producción y Mantenimiento: En esta tercera fase se publica la aplicación y se realiza un mantenimiento de la misma para eliminar los errores que se vayan encontrando.

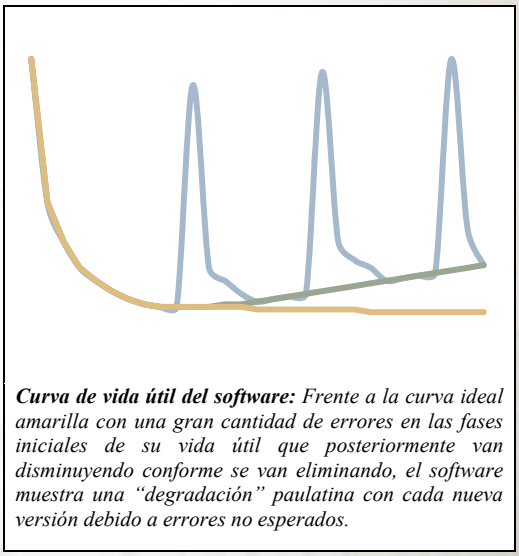
3.9 Modelos de desarrollo de software

Como vemos, la curva de vida útil del software es diferente a la "curva de la bañera" que define la vida útil de los bienes físicos (Figura 3.1). En el caso del software tenemos una elevada tasa de errores inicial atribuibles a errores en el código que se irán depurando durante las sucesivas fases de validación (de cada componente -lógica, datos y GUI- y posteriormente del software completo) por lo que disminuirán drásticamente hasta estabilizarse en un nivel aceptable (38).

Sin embargo, ya que el software no sufre ningún deterioro en el tiempo esta curva se mantendría plana de forma ideal sin sufrir ningún repunte de errores por desgaste. Esto sin embargo no es así, debido a los cambios producidos en los entornos informáticos, la tecnología, los paradigmas estéticos y operativos, los cambios en los requerimientos o funciones, la compatibilidad con otras plataformas y fuentes de datos, el reanálisis de la arquitectura para asegurar la compatibilidad con los sistemas del momento... (38).



Curva de la bañera: *Aplicable al hardware, muestra un gran número de errores inicial atribuibles a defectos de fabricación o de diseño que se solucionan. El número de errores se mantiene bajo hasta el fin de la vida útil del producto. Muestra la aparición de errores a lo largo del tiempo.*



Curva de vida útil del software: *Frente a la curva ideal amarilla con una gran cantidad de errores en las fases iniciales de su vida útil que posteriormente van disminuyendo conforme se van eliminando, el software muestra una "degradación" paulatina con cada nueva versión debido a errores no esperados.*

Figura 3.1: Comparativa entre la "Curva de la Bañera" y la curva de vida útil del software

Por este motivo, el código debe ser modificado para adecuarse constantemente a la realidad del momento de la informática. Con cada cambio introducido la tasa de errores se dispara, bajando nuevamente con las fases de validación y mantenimiento de cada nueva actualización, aunque puede no descender hasta el punto en que se estabilizó anteriormente ya que los equipos que desarrollaron inicialmente el software no tienen por qué seguir en activo y es posible que las personas encargadas de modificar el código no entiendan la lógica subyacente al método de programación del equipo anterior. Si el sistema no es crítico llega un momento en el que la

inversión necesaria para realizar ese mantenimiento es tan elevada que puede llegar a no ser rentable, cayendo así la aplicación en la obsolescencia (38).

El proceso de desarrollo de software, desde el análisis de requerimientos hasta el producto finalizado, se denomina "proceso de software". El proceso de software es un armazón de actividades, acciones y tareas necesarias para poder construir software de alta calidad. Sin embargo el proceso de software no es un ente único, sino que se dispone de diferentes modelos de procesos en función del equipo de trabajo y del software a desarrollar (38).

Los modelos de procesos se crearon inicialmente para intentar poner un cierto orden al caos imperante en el desarrollo de software. A pesar de las décadas de investigación, aún muestran una falta de capacidad predictiva de coste, tiempo, especificaciones y calidad del software producido (54). Pueden dividirse en prescriptivos, especializados, unificado, personal y de equipo.

Los modelos prescriptivos son aquellos en los que las actividades y tareas ocurren de una forma lineal, con guías definidas de progreso (38).

Los especializados toman muchas de las características de los modelos prescriptivos, aunque tienden a aplicarse cuando se elige un acercamiento muy especializado de ingeniería de software. En algunos casos este acercamiento especializado puede hacer referencia simplemente a un conjunto de técnicas o a una metodología para desarrollar un objetivo concreto (38).

El modelo unificado consiste en un intento de unir las mejores características de los modelos tradicionales de procesos de software caracterizándolos de forma que adquieran los principios de desarrollo ágil reconociendo la importancia de la comunicación con el cliente (38).

Los modelos personales y de equipo son aquellos en los que los propios desarrolladores crean el modelo de procesos basándose en las necesidades y organización del equipo de desarrollo, independientemente de que el equipo esté formado por varias o por una sola persona (38).

Una vez elegido el modelo del proceso, el equipo de desarrollo debe crear una lista de tareas a realizar, productos a producir y pruebas de calidad a pasar (38).

Es muy importante que el proceso esté debidamente desarrollado para que el producto final no se resienta, pero un desarrollo obsesivo de este proceso tampoco es adecuado y puede ser peligroso (38).

Todos estos modelos de procesos de software son a su vez diseñados y adaptados por las personas encargadas del desarrollo. Sin embargo, todos deben incluir cuatro actividades fundamentales (49):

1. Especificaciones del Software: Definición de la funcionalidad del software y de sus limitaciones.
2. Diseño e implementación del software: Desarrollo del software para adecuarse a las especificaciones desarrolladas.
3. Validación del software: Comprobación de que el software hace lo que el cliente quiere.
4. Evolución del software: Cambios del software para adecuarse a los cambios en las necesidades del cliente.

De algún modo, estas actividades son parte de todos los procesos de software. En cualquier caso, estas actividades son a su vez complejas, pudiendo incluir varias actividades cada una de ellas a su vez (49).

Como vemos, estas cuatro actividades asemejan las fases del desarrollo de software anteriormente citadas y coinciden con ellas (51).

Si bien hay un consenso muy claro acerca de la necesidad de utilizar técnicas profesionales de ingeniería de software y un proceso de software, no hay un modelo claro. La ingeniería de software es una disciplina muy joven que aún no ha alcanzado la madurez de otras ciencias y, aunque existen muchas técnicas empíricas y estructuras de otras ciencias que pueden adaptarse, hay aspectos que deben ser desarrollados y que son específicos de la ingeniería de software (55).

3.10 Especificaciones del software y análisis de requerimientos

Durante esta fase del proceso se busca entender y definir qué servicios va a requerir la aplicación e identificar con qué limitaciones cuenta. Es una parte crítica del proceso, ya que un error en esta fase conllevará inevitablemente problemas en la fase posterior de diseño e implementación (49).

Esta fase está dividida en cuatro sub-fases (estudio de viabilidad, extracción de requerimientos y análisis, especificación de requerimientos y validación) las cuales no son secuenciales, sino que de cada fase se puede volver a la anterior (49).

3.11 Diseño e implementación

Una vez finalizada la fase anterior ya tendremos los requerimientos de la aplicación, la información de la plataforma sobre la que quiere realizarse y la descripción de los datos que se van a utilizar. Este es el momento de convertir esas especificaciones en una aplicación ejecutable. Aunque en esta fase el análisis de requerimientos haya finalizado, es muy probable que se incluya un refinamiento y modificación de los mismos (49).

A partir de esta información debemos realizar una descripción de la estructura del software, los modelos y estructuras de datos, las interfaces entre los componentes del sistema y los algoritmos que posteriormente codificaremos en la fase de implementación (49).

Podemos identificar cuatro bloques de diseño (49):

- Arquitectura: Se identifica la estructura global del sistema, los componentes principales y cómo se relacionan y distribuyen.
- Interfaces: Se definen las conexiones para intercambiar información entre los distintos componentes del sistema. Es muy importante que esta definición sea lo más precisa posible ya que, de ese modo, los componentes pueden desarrollarse por separado sin necesidad de saber cómo funcionan los demás.
- Componentes: Se define cada componente del sistema y se diseña su funcionamiento. Es importante revisar si ya se dispone de algún componente creado previamente que pueda reutilizarse.
- Base de datos: Se define la estructura de la base de datos. En este caso se puede valorar también reutilizar una base de datos creada anteriormente.

Estos cuatro bloques no son secuenciales sino intercalados entre sí, de forma que la modificación de uno de ellos puede conllevar la modificación de los demás (49).

Para realizar estos diseños, la comunidad de ingenieros de software lleva abogando desde hace tiempo por el uso de modelos para mejorar las prácticas de desarrollo de software. Mediante la utilización de dichos modelos se consiguen dos objetivos diferentes: primero se logra un mayor nivel de abstracción que permite analizar los requerimientos, localizar problemas y mejorar la gestión de un software cada vez más complejo y, por otro lado, se aumenta la cantidad de información transmitida al equipo (ya que la cantidad de información transmitida de forma visual es superior a la información transmitida por otros medios) (56).

Hay tres formas de utilizar estos modelos a la hora de realizar el desarrollo de un proceso:

- Bocetos: Se utilizan diagramas informales y muy básicos que muestran de forma genérica el flujo del sistema sin ahondar en todos los detalles. Este es el modo más común de uso de los lenguajes de modelado y una práctica recomendada en el desarrollo de procesos centrados en el código. En este caso no suelen utilizarse más herramientas que una pizarra para dibujar los diagramas y clarificar diversos aspectos del sistema (56, 57).

- Planos: Son diagramas que ofrecen casi todos los datos del sistema, de forma que se clarifiquen todos los aspectos del mismo e incluso se utilizan para mostrar partes del código. Son ampliamente utilizados en el Desarrollo Basado en Modelos (MBD por sus siglas en inglés).

- Modelos completos: Se pueden utilizar modelos para caracterizar aplicaciones por completo. En este caso puede incluso sustituirse el código por estos modelos y transformarse en archivos ejecutables. Este es el modelo utilizado en el caso del Desarrollo Dirigido por Modelos (MDD por sus siglas en inglés).

Estos modelos pueden realizarse inicialmente incluso en papel. De este modo puede realizarse una evaluación de usabilidad inicial recurriendo a un número reducido de participantes que ayude a la localización precoz de errores (*beta testers*). Respecto al número necesario de participantes para estas pruebas depende de los autores consultados, aunque existe una relación directa entre el número de pruebas y de participantes y los problemas encontrados (58).

Inicialmente se estimó que entre tres y cinco individuos con las habilidades adecuadas podían localizar hasta el 80% de los errores presentes en una interfaz web (59). Posteriormente, este axioma se ha concretado por algunos autores que afirman que una evaluación con cinco usuarios es suficiente si el coste de la búsqueda de errores es demasiado elevado para el presupuesto, si el producto no requiere condiciones de seguridad especiales y si no hay agentes externos que exijan un análisis superior (60). Otros autores aseguran que si bien en la década de 1990 se consideraba que una prueba con cinco usuarios descubriría el 80-85% de los errores de usabilidad, los estudios hoy día recomiendan la realización de pruebas con un mayor número de usuarios (61).

Aunque el número de usuarios viene determinado por la complejidad de la prueba y está aún en duda, gran cantidad de autores consideran que siguiendo la recomendación de cinco usuarios de la década de 1990 es suficiente para localizar la mayoría de los problemas de usabilidad (58).

3.12 Entornos de programación

Una de las decisiones que debemos tomar durante la fase de diseño es qué lenguajes y qué entornos de programación utilizaremos.

Entre las diversas opciones existentes, el software *Open Source* se ha definido como "una forma de desarrollo de software que aprovecha la capacidad de la revisión por pares distribuida y la transparencia del proceso. La promesa del *Open Source* es una mejor calidad, mayor fiabilidad, mayor flexibilidad, menos coste y el final del bloqueo por parte de los proveedores de software" (62).

Ello implica que estos lenguajes y entornos están abiertos al público y pueden ser revisados y mejorados por cualquiera que tenga interés y permiso (38, 63). Por este motivo, los sistemas *Open Source* maduros tienden a ser muy fiables, ya que hay una gran cantidad de usuarios dispuestos a arreglar los errores sin esperar a que el desarrollador libere una nueva versión del software. Por ello, los *bugs* suelen encontrarse y arreglarse antes que en el software propietario (49).

Además, el software abierto y los lenguajes de programación basados en esta idea no solo disminuyen los costes derivados de su implantación (64), sino que además tienden a ser compatibles con la mayoría de las plataformas aumentando así la disponibilidad para el público. Por otra parte, muchas veces tienen también unos requerimientos inferiores para su funcionamiento (65).

3.13 Validación del software

Una vez finalizada la fase de codificación, entramos ya en la prueba y validación de la aplicación. Durante esta fase debemos asegurarnos que la aplicación hace aquello que debe hacer y encontrar los errores que hayan pasado desapercibidos a lo largo de otras fases (49, 66).

Debemos tener en cuenta que la prueba no puede asegurar la ausencia de errores, solo su presencia. Así pues no podemos asegurar que una aplicación esté libre de todo tipo de errores (49, 66).

La fase de prueba integra dos tipos de evaluaciones (49, 66):

- Prueba de software: La aplicación se somete a una serie de pruebas de uso que buscan poner de manifiesto errores de funcionamiento.
- Inspecciones y revisiones de software: Se analizan y chequean los requerimientos del sistema, modelos de diseño, código fuente e incluso las pruebas realizadas en el apartado anterior.

Debemos tener en cuenta que si bien las inspecciones son una idea bastante antigua, varios estudios demuestran que son más efectivas que las pruebas de software, llegando a detectar más del 90% de los errores existentes. Por otra parte, no pueden sustituir a las pruebas ya que no son capaces de descubrir errores debidos a interacciones no esperadas entre distintos componentes del software. Por otro lado, la prueba de software por si sola tampoco es un buen método de validación ya que unos errores de funcionamiento pueden enmascarar a otros (49, 66).

Existe un método de desarrollo basado en el método ágil de programación llamado Desarrollo Dirigido por Test (TDD por sus siglas en inglés). El TDD consiste en ir realizando pruebas y

validaciones de cada módulo de la aplicación antes de proseguir hasta el siguiente de forma que todas las partes quedan probadas antes de acabar la fase de codificación (49, 66).

Con este método, inicialmente se identifican todas las funcionalidades de la aplicación, para después irse desarrollando por separado. Una vez programada cada funcionalidad se programa una prueba para la misma que indique si el resultado es adecuado o no, si la prueba se supera se implementa esa funcionalidad en la aplicación y se vuelven a realizar las pruebas. Una vez se pasan todas las pruebas, se avanza a la siguiente funcionalidad (49, 66).

Uno de los beneficios más importantes de este método es que reduce los costes de las pruebas regresivas. Estas son aquellas que se hacen a las diferentes partes de un sistema cuando se ha realizado algún cambio sobre él. Se ha comprobado que es un método adecuado para proyectos medianos y pequeños, y en algunos estudios ha demostrado que mejora la calidad del código. Aunque en otros estudios los resultados sobre la mejora en la calidad del código no han sido concluyentes, en ninguno se ha visto que haya empeorado la misma (49).

A pesar de que se utilice este método de desarrollo, es necesario realizar una prueba y una validación del sistema cuando la aplicación se finaliza por completo, ya que la unión de todos los módulos puede dar lugar a resultados inesperados (49).

3.14 **Mantenimiento y Reingeniería**

Una vez finalizada una aplicación y puesta en producción comienza su vida útil y solo quedan ya dos procesos: el mantenimiento y la reingeniería (38).

El mantenimiento comienza prácticamente en el mismo momento en que se distribuye la aplicación y los usuarios empiezan a usarla. Instantáneamente comienzan a llegar notificaciones de los primeros *bugs*. Conforme la vida útil de una aplicación se alarga, la lista de mejoras a realizar, problemas que solucionar, partes a ampliar... crece irremediablemente. Eso unido a la alta movilidad del personal dedicado a la programación (es muy posible que llegado un momento, no quede nadie del equipo que diseñó la aplicación o que equipos diferentes hayan modificado el código) hace que en las empresas de desarrollo de software se lleguen a gastar hasta un 60 o 70% de los recursos en mantenimiento de las aplicaciones (38).

Por este motivo es tan importante la "facilidad de mantenimiento" de una aplicación como factor de calidad. La forma de conseguir que una aplicación sea fácil de mantener se consigue siguiendo un diseño modular, usando patrones de diseño fáciles de comprender e implementando un código comprensible, bien documentado y adherido a los estándares (38).

En cualquier caso, llega un momento en el ciclo de la vida de una aplicación en el que ya no es posible realizar el mantenimiento correctivo o perfectivo de la misma, bien sea porque el código está tan modificado que cada nueva modificación produce errores inesperados, bien porque se basa en una tecnología tan obsoleta que es incompatible con los sistemas actuales, o bien porque se realizó con un estándar de baja calidad que da lugar a un código monolítico en el que habría que reescribirlo todo para que funcionara, de forma que al final se llega a un punto en que hay que modificar por completo la aplicación. Este proceso se conoce como "reingeniería" (38).

Hay que tener en cuenta que la reingeniería no es un proceso breve ni barato. Puede conllevar el gasto de gran cantidad de recursos en forma de tiempo y dinero por lo que es mejor adoptar una estrategia pragmática (38).

Hay dos motivos por los que es mejor optar por la reingeniería de una aplicación antes que comprar una nueva. En primer lugar, porque tiene un menor riesgo (ya que el desarrollo de software siempre conlleva riesgos de cometer errores en las especificaciones o en el desarrollo del mismo), y porque puede haber retrasos en el despliegue de este que conlleven costes adicionales (49).

Por otro lado, el coste de una reingeniería es sensiblemente menor al de un nuevo desarrollo. En 1990 se estimó el coste de un nuevo desarrollo en unos 50 millones de dólares, mientras que una reingeniería de un sistema se estimó alrededor de los 12 millones. Hoy día probablemente con las nuevas tecnologías ambos costes habrán disminuido, aunque es probable que el de la reingeniería siga siendo sensiblemente inferior (49).

La idea de la reingeniería es actualizar el software para ponerlo al día con la tecnología actual, así como actualizar la documentación y la estructura para facilitar en el futuro el mantenimiento y la actualización (49).

El modelo es cíclico y conlleva una serie de pasos inicialmente secuenciales, pero que conllevan un proceso que no finaliza para asegurar una constante mejora del software (38):

- Análisis e inventario: Al ser un proceso tan costoso, y como parte de este modelo de constante mejora del software, es importante disponer de un inventario en el que aparezcan las distintas aplicaciones de que se dispone así como su soporte y posibilidad de mantenimiento. De este modo, se pueden distribuir mejor los recursos para la reingeniería.

- Reestructuración de la documentación: En muchas ocasiones con software antiguo o de baja calidad la documentación es prácticamente inexistente. Si todo funciona en muchas ocasiones no merece la pena documentar todo ese software ya que sería demasiado caro, pero al menos conviene documentar todos los cambios que se realicen. En sistemas críticos merece la pena asignar los recursos necesarios para documentarlo.

- Ingeniería inversa: Es un proceso por el cual un software que ya funciona se modela hasta conseguir el mayor grado de abstracción posible (mayor que el código fuente). Consiste en el descubrimiento del diseño del software existente.

- Reestructuración del código: Es el caso más común de reingeniería, aunque el término es a duras penas aplicable. En este caso se analiza el código existente de los distintos módulos del software en busca de errores o defectos, se anotan los mismos, se modifica el código y se prueba para asegurar que el nuevo módulo funciona correctamente. En ocasiones puede incluso cambiarse por completo uno o varios módulos para actualizar el lenguaje de programación. Posteriormente se actualiza la documentación existente.

- Reestructuración de los datos: En contra de lo que ocurre con el código, el cambio de la capa de datos es una actividad completa de reingeniería. Debe analizarse profundamente la arquitectura de los datos para modificarla y tener en cuenta que la estructura de la capa de datos tiene mucha importancia en la arquitectura del software y la lógica del mismo, por lo que probablemente se deban modificar otras partes después de modificar los datos.

- Ingeniería a futuro: Consiste en la reunión de la información de diseño del software existente para alterar el sistema y mejorar la calidad del conjunto. Normalmente, se recrea la función del sistema existente añadiendo nuevas funcionalidades y mejorando la calidad del sistema.

Otra opción de mejora de software existente es la Programación Genética. La "mejora genética" busca mejorar los sistemas automáticamente sin necesidad de programadores humanos. Comenzando con un código escrito por un programador, la mejora genética intenta normalmente corregir partes no funcionales del software (como son el tiempo de ejecución o el consumo de recursos) aunque puede modificar incluso otras partes del programa. Es una técnica con numerosas aplicaciones como migrar un software de una plataforma a otra, de un lenguaje a otro, aumentando la velocidad de ejecución del mismo o mejorando el consumo de recursos (67).

Con ella se busca automatizar en la medida de lo posible el proceso de mejora del software existente de forma que él mismo puede "evolucionar" sin necesidad de utilizar programadores humanos con el actual sistema (tedioso, lento y caro) (67).

Una forma de mejora genética del software es la Mejora Genética del Software de Exploración de Múltiples Objetivos (GISMOE por sus siglas en inglés). Este sistema va analizando el código línea a línea, introduce modificaciones, las prueba y si los resultados de las pruebas son correctos pasa a la siguiente. Actualmente se utiliza solo en laboratorios aunque ya existe algún estudio con resultados prometedores en software con una complejidad idéntica a la del software "de la vida real" (67).

4
Material y métodos general

"El Software es un lugar donde se plantan sueños y se cosechan pesadillas, un pantano abstracto y místico donde terribles demonios compiten con mágicas panaceas, un mundo de licántropos y balas de plata"

Brad J. Cox

Imagen Original: NASA Goddard Space Flight Center. Flickr

Como hemos visto anteriormente, el primer paso en cualquier proyecto de software consiste en el análisis de la aplicación: definición de las funciones que tiene que realizar y el modo en que las lleva a cabo.

Por ello, y aunque en esta Memoria se van a desarrollar tres aplicaciones bastante diferentes entre sí (un simulador de protocolo diagnóstico, un simulador de herencia genética y una plataforma de preguntas que fuera capaz de generar una partida o incluso una "liguilla" entre varios equipos) hay una serie de decisiones y pasos comunes a todas ellas que deben realizarse previamente. En este capítulo se van a desarrollar esa serie de elementos comunes, aunque posteriormente se especificarán las particularidades de cada aplicación.

Al realizar un análisis de requerimientos inicial, en cualquier caso, se puede observar que todas ellas son aplicaciones que reúnen las siguientes características comunes:

- Deben diseñarse para ser usadas en el ámbito universitario.
- Deben utilizarlas simultáneamente varias personas en diferentes equipos informáticos.
- Deben ser actualizables y permitir la inclusión de casos nuevos de forma centralizada.
- Deben ser utilizables en la mayor cantidad de plataformas posible.
- Deben desarrollarse y mantenerse con el menor coste económico posible.

Estas cinco características decantan la balanza en favor del desarrollo de aplicaciones web, las cuales cumplen los cinco requisitos planteados.

Una vez decidido el tipo de aplicación que mejor se ajusta a las intenciones del proyecto, el siguiente paso lógico era decidir los requerimientos de las aplicaciones a desarrollar. Para ello la primera elección fue el diseño de la arquitectura de las aplicaciones, ya muy influenciada por los mismos criterios que orientaron la elección de aplicaciones web. Por tanto, se opta por desarrollar aplicaciones distribuidas divididas en capas y niveles.

Las aplicaciones distribuidas se caracterizan en oposición a las monolíticas por ejecutar sus distintos servicios en diferentes entornos conectados entre sí, normalmente, mediante una red. Este hecho difiere totalmente de la arquitectura de las aplicaciones tradicionales en las que se instala el software en el ordenador del usuario y todo el código se ejecuta en el mismo con las consiguientes ventajas (y problemas).

En este caso concreto se opta por un diseño en tres capas con un cliente ligero por parte del usuario y que necesitará en todo momento, una conexión a Internet. Las capas serán:

- Capa de presentación: Dependiente del equipo del usuario, es la encargada de mostrar la GUI y representar todo lo entregado por la capa de negocio.
- Capa de negocio: Situada en un servidor web, recibe las órdenes del usuario, las interpreta y devuelve la respuesta requerida. En caso necesario puede tener que solicitar datos a la capa de datos.
- Capa de datos: Localizada en un servidor de bases de datos, alberga los datos de las aplicaciones.

De este modo, las aplicaciones presentan un diseño multicapa (*N-Layer*) con tres capas diferenciadas, y también multinivel (*N-Tier*) al ejecutarse de forma distribuida en distintos equipos, cada uno de ellos encargado de una parte de la aplicación, quedando la representación de la GUI en manos del dispositivo del usuario, y la capa de negocio y la de datos en manos de uno o dos servidores diferenciados.

Esta arquitectura es muy abierta y permite añadir equipos, modificar, añadir o replicar componentes conforme crece la demanda, y reconfigurar el sistema de forma dinámica, todo ello sin que el usuario detecte un corte del servicio. Es por lo tanto un sistema muy flexible y escalable.

Una vez diseñada la arquitectura de las aplicaciones que a desarrollar, el siguiente paso es elegir los lenguajes de programación que van a utilizarse para ese desarrollo.

Para la GUI se opta por implementar una interfaz gráfica utilizando lenguajes web alineados con un estándar que pueda ser interpretado por la gran mayoría de los navegadores existentes en el mercado y se adhiera a los principios del World Wide Web Consortium (W3C). Dentro de los estándares de HTML definidos por el W3C, se optará por el uso del HTML5 ya que, a pesar de no estar completamente adoptado por todos los navegadores, otorga de forma nativa una serie de funcionalidades muy interesantes que desarrollaremos más adelante. Recordemos que el acceso puede realizarse tanto desde ordenadores personales obsoletos (como los disponibles en salas de usuarios y aulas informáticas de algunas Universidades), como desde tabletas y *smartphones* de uso personal de los discentes. Particularmente compleja es la adaptación a navegadores obsoletos y problemáticos como Internet Explorer 6, que desafortunadamente todavía está presente en un porcentaje significativo de equipos para uso docente.

Entre las funcionalidades que ofrece el estándar HTML5, una digna de destacar es la reproducción nativa de archivos de vídeo codificados mediante estándares abiertos (formato OGG y MP4) así como de otros tipos de archivos multimedia y animaciones sin necesidad de utilizar *plugins* como Adobe Flash® o Microsoft Silverlight®. Al permitir este tipo de reproducciones nativas basadas en estándares se elimina también carga del ordenador del usuario al reducir el número de aplicaciones que debe tener instaladas para poder utilizar las herramientas, y permitiendo de este modo ejecutar la aplicación en equipos más modestos y, por lo tanto, disminuyendo aún más el coste.

En el apartado de la GUI a su vez también se utilizará una arquitectura por capas separando la información a mostrar del tratamiento gráfico que se dará a la misma. Así, se usará CSS3 para la definición de estilos. De esta manera puede modificarse el apartado gráfico sin tener que modificar en ningún momento los datos de la aplicación.

Para la capa de negocio se opta por un lenguaje de programación de propósito general de código del lado del servidor. Se decide utilizar el lenguaje PHP debido a que está desarrollado bajo los estándares *Open Source* y es además gratuito. Este lenguaje fue diseñado desde un primer momento para la programación de páginas web dinámicas, y permite combinar distintos tipos de código (HTML, SQL...). Este código será leído e interpretado por el servidor que enviará al cliente únicamente código HTML plano. Gracias a ello disminuye una vez más el requerimiento de procesado en el ordenador del usuario que no necesita tener instalado ningún complemento (como puede ser JAVA) sino únicamente su navegador web. Nuevamente se valora esta opción por encima de otros lenguajes y entornos como ASP o .NET (propietarios de Microsoft) por los costes que podrían derivar en los centros para instalar los intérpretes de estos lenguajes. Además el uso de estos lenguajes no supone una mejora de rendimiento ni de funcionalidad.

Desde el punto de vista de programador y docente, PHP permite realizar operaciones en el lado del servidor a las que el usuario no puede tener acceso ya que incluso inspeccionando el código que le llega solo recibirá el resultado. Esto es una ventaja ya que se están diseñando herramientas docentes por lo que interesa que un discente con conocimientos informáticos avanzados no pueda inspeccionar el código para saber qué tiene que hacer para atajar, sino que está obligado a seguir los pasos requeridos para avanzar en la aplicación.

Como servidor web se abogará por el uso del servidor HTTP Apache. Es un servidor de gran potencia disponible para todo tipo de plataformas (UNIX, Microsoft Windows, Apple MacOS...) que, al igual que PHP, es de código abierto. Desarrollado por la Apache Software Foundation su máximo uso se registró en 2005 cuando un 70% de los servidores web eran Apache. Hoy día se estima su uso en un 38% del total de páginas web existentes (un 51% de las activas) siendo el más utilizado. Al igual que en el caso de PHP, la instalación de Apache no requiere el pago de licencias, puede instalarse sobre sistemas operativos igualmente gratuitos y no requiere máquinas potentes, pudiéndose llegar a instalar en micro-ordenadores como la Rπ. En cualquier caso, la elección del servidor web a utilizar viene determinada por el servicio del que disponga el servidor de alojamiento de la aplicación web. Al igual que en el caso de PHP el hecho de ser de código abierto y licencia gratuita ha supuesto una mejor valoración desde nuestro punto de vista para el objetivo de las aplicaciones que el caso de Microsoft Internet Information Service o NGINX Plus, los competidores siguientes a Apache.

Para la capa de datos, se utilizará el lenguaje de consulta estructurado (SQL por sus siglas en inglés) el cual es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos que permite realizar numerosas operaciones en ellas. Para la gestión de las bases de datos se opta por la aplicación MySQL debido a su gran potencia y, nuevamente, porque es un sistema bajo el estándar *Open Source*. A pesar de que en el caso de MySQL el sistema es propiedad de una empresa (Oracle) y de que surgieron dudas en un primer momento cuando esta adquirió Sun Microsystems sobre el futuro de la parte *Open Source* de Sun, finalmente se ha podido observar que no se ha modificado el carácter libre de este producto que, además, ha mantenido un desarrollo regular por parte de la empresa siendo la última actualización de abril de 2015. Posee un sistema de licencias dual en función de si el uso es compatible con la Licencia Pública General de GNU (GNU GPL por sus siglas en inglés) o se va a hacer un uso privativo, en cuyo caso deberá adquirirse una licencia específica.

La base de datos MySQL, ha demostrado ser muy rápida cuando se utiliza para lectura de datos aunque dé algunos problemas cuando hay elevadas modificaciones de los mismos. Esto hace que sean ideales para entornos web en los que hay mucha lectura y poca modificación de los datos.

La adopción de estas dos tecnologías (PHP y MySQL) se produce también porque ambos son servicios comunes y gratuitos en cualquier alojamiento de páginas web, por lo que no se incurriría en gastos adicionales para la institución que quiera albergarlas.

Por otro lado, ambas tecnologías están ampliamente distribuidas por todo el mundo. Por ello, si se llegara a acuerdos con otras instituciones para dejar instaladas las aplicaciones en sus servidores, no se tendría que incurrir en gastos de licencias.

Para el modelado de las aplicaciones se opta por la realización de diagramas de flujo de datos en varios soportes, desde dibujos en papel hasta modelos en soportes digitales. El paso inicial consiste en sistematizar y protocolizar las actividades a realizar extrayendo de dicho protocolo las diferentes "pantallas" a las que va a tener acceso el usuario. Una vez realizados estos modelos iniciales básicos, en los que se puede observar el flujo de los datos, se procede al prototipado de

esas "pantallas" y al establecimiento de las relaciones entre ellas. Una vez creados los primeros bocetos gráficos de las mismas, se puede identificar qué recursos son necesarios para el funcionamiento de las aplicaciones así como qué módulos van a ser necesarios, cuáles son las interfaces de esos módulos para las comunicaciones con otros y en qué casos pueden reutilizarse tanto en otros módulos de la misma aplicación, como en otras aplicaciones diferentes.

A partir de estos diagramas también se pueden definir los materiales que será necesario recopilar, incluyendo material multimedia, textos, documentos de ayuda, etc.

La siguiente fase en el desarrollo de las aplicaciones es la fase de codificación. Durante esta fase se desarrolla el código de la aplicación que posteriormente se convertirá en la aplicación completa.

Para la elaboración de este código en los lenguajes anteriormente descritos (HTML5, CSS3, SQL, PHP, Javascript) se opta por el uso de un entorno de desarrollo integrado (IDE por sus siglas en inglés) muy básico. Estos entornos son herramientas que suelen estar compuestas por un editor de código fuente, herramientas de construcción automáticas y un depurador. En algunos casos disponen de un compilador o un intérprete.

En este caso concreto se han utilizado dos IDE muy básicos. Inicialmente se utiliza el editor Araneae 5.0.0 (Mark McIntyre, Orangeline Interactive, http://www.ornj.net/araneae/) que dispone de un sistema para el resaltado de la sintaxis en función del lenguaje utilizado y es una aplicación muy ligera orientada únicamente al desarrollo de aplicaciones web. Posteriormente, y con la llegada del estándar HTML5, este editor queda inicialmente obsoleto al no recibir actualizaciones por parte de su creador desde 2006 (aunque más tarde se actualizó mediante la incorporación de *plugins* externos de terceros).

Más adelante se utiliza el editor Notepad++ (Don Ho, https://notepad-plus-plus.org/), un editor muy ligero del estilo del anterior con resaltado de sintaxis que posee un mayor mantenimiento por parte de su creador, con la última actualización en agosto de 2015. Además, es de código abierto con licencia GNU GPL apoyando así los sistemas de software *Open Source*.

Hay que destacar que los lenguajes utilizados para el desarrollo de las aplicaciones son en todos los casos lenguajes interpretados. Esto quiere decir que no es necesario tener un compilador que transforme las órdenes en lenguaje máquina, sino que el intérprete las ejecuta directamente línea a línea.

Para el manejo del material multimedia se utilizan dos aplicaciones diferentes. Para la creación de material estático se emplean diferentes versiones de Adobe Photoshop (Adobe, https://www.adobe.com/es/products/photoshop.html) y para la edición de los vídeos y su recodificación en OGG o WMV se usa SUPER (eRightSoft, http://www.erightsoft.com/SUPER.html). Posteriormente, y debido a problemas de compatibilidad de Internet Explorer 9 y Safari con el formato OGG Vorbis, se recodifican los vídeos en formato MPEG-4 MP4, compatible con estos navegadores. Además, por problemas de malware derivados del uso de SUPER se utiliza la aplicación de software libre TEncoder (Ozok, http://sourceforge.net/projects/tencoder/).

Para la distribución del material de apoyo docente aportado a los discentes se optó por utilizar los formatos PPT (Microsoft PowerPoint) y PDF (Adobe Acrobat).

La validación se realiza mediante una inspección inicial del código, la realización de diferentes pruebas sobre cada módulo durante el proceso de codificación y una prueba integral de cada aplicación completa una vez finalizada.

Durante su uso en prácticas y seminarios reglados se solicita a los usuarios que den a conocer cualquier error que encuentren en las aplicaciones para poder realizar el mantenimiento correctivo y perfectivo.

Por último, la documentación del código se realiza en el propio código fuente mediante comentarios. Para asegurar la inteligibilidad del código también se siguen unas estrictas normas de sangrado para poder diferenciar rápidamente los bloques del código.

5
Simulador de Diagnóstico de cojeras en caballos

Justificación
Antecedentes
Material y métodos
Resultados
Análisis de debilidades del sistema

"Los seres humanos, que son casi únicos por su habilidad de aprender de la experiencia de otros, son también extraordinarios por su aparente inclinación a no hacerlo"

Douglas Adams
Last Chance to See

Imagen Original: fallingdominos. Flickr

5.1 Justificación

La cojera es el síndrome más común en la práctica veterinaria en caballos, llegando a ocupar el segundo puesto tanto en duración como en días perdidos de labor del individuo por caso (68, 69). Desde siempre ha sido considerada una patología de enorme importancia debido a la pérdida de valor que genera en un animal, cuya función depende por completo del buen funcionamiento del aparato locomotor. Por este motivo ha sido estudiada en todos los países y a lo largo de todas las épocas (70–73). Se ha llegado a estimar en determinados sectores que, en el 50% de las actividades que implican al menos tres caballos, uno de ellos acaba desarrollando una cojera, lo que acaba implicando un 5% del total de animales dedicados a estas actividades (74).

Otros estudios que investigan poblaciones de caballos en entornos de trabajo, no de competición, llegan a observar una incidencia de cojeras del 25,3% de la población en un año, con una tasa de incidencia mensual del 2,12% y anual del 25,44%, sin relación significativa entre la aparición de cojera y la edad o los años de servicio (75). Si bien la edad es un factor de riesgo a tener en cuenta, hay determinadas cojeras que pueden aparecer en individuos de cualquier edad, sexo y raza (76, 77).

Además se ha visto, que la supervivencia a 5 años es inferior en animales que han tenido problemas locomotores, por lo que es importante durante una reseña que un veterinario sea capaz de examinar de forma precisa el aparato locomotor y predecir el impacto que puedan tener estos factores en la salud y el rendimiento del caballo (78).

Es por esto, que el Royal Veterinary College (RVC por sus siglas en inglés), considera el examen del aparato locomotor y las distintas pruebas que integran el diagnóstico de las cojeras como "competencias de día 1" que todos los graduados deben poseer nada más obtener su título (3). En el caso de España debería tener un puesto preferente en la docencia, ya que el Libro Blanco del Grado en Veterinaria incluye entre las competencias profesionales “Diagnosticar las enfermedades más comunes, mediante la utilización de distintas técnicas generales e instrumentales” (1). De manera similar, la lista de Competencias Esenciales Recomendadas por la Asociación Europea de Establecimientos de Educación Veterinaria (EAEVE por sus siglas en inglés) también recoge prácticamente con el mismo título que el egresado debe haber adquirido un profundo conocimiento y comprensión de la etiología, patogénesis, signos clínicos, diagnóstico y tratamiento de los procesos patológicos comunes que se dan en las especies domésticas comunes de la Unión Europea (79).

Debemos tener en cuenta antes de empezar que la cojera es una manifestación clínica de un problema subyacente cuyo reconocimiento, localización, caracterización y manejo son complejos (80). Por lo tanto es necesario seguir un protocolo estandarizado que nos asegure la revisión sistemática y rigurosa de todo el animal y que minimice, en la medida de lo posible, el desvío de la atención a otros hechos que puedan alterar el diagnóstico final emitido por el veterinario (81).

El desarrollo de un simulador que permita al discente seguir todos estos pasos facilitaría aprovechar al máximo las prácticas regladas desvinculando la formación de la probabilidad de tener la oportunidad de observar suficientes casos como para poder adquirir las competencias requeridas (82) y facultando un acortamiento de las fases cognitiva y de integración que posibilite llegar antes a la fase de automatización. De este modo, el alumno puede estar atento a hechos en la práctica con el animal que no supongan una aplicación mecánica del protocolo aprendido (9).

Si bien una aplicación web como la que se ha propuesto no es el modelo más fiel posible para simular el proceso de diagnóstico de cojeras en équidos, se ha podido comprobar que la fidelidad es menos importante en las fases iniciales de adquisición de habilidades (9). Por ello, en un nivel pre-grado el uso de un simulador robotizado complejo o una web probablemente den el mismo resultado y permitan integrar el protocolo de diagnóstico para permitir al discente atender a otros aspectos de la práctica y de los casos.

5.2 Antecedentes

El diagnóstico clásico de las cojeras consiste, básicamente, en los siguientes pasos (80, 81, 83-85):

- Anamnesis completa, incluyendo reseña y usos.
- Examen estático:
  - Examen visual del caballo en la estación.
  - Palpación del animal, incluyendo pruebas de pinza en el casco.
  - Test de flexión estáticos.
- Examen dinámico:
  - Observación del animal en marcha, tanto en línea recta como en círculos (movimientos naturales).
  - Realización de test de flexión dinámicos.
- Pruebas complementarias:
  - Realización de anestesias diagnósticas si fuera necesario.
  - Realización de pruebas de diagnóstico por imagen.

Con este protocolo buscamos dar respuesta a cuatro cuestiones fundamentales que han de ser respondidas en este orden, para establecer un diagnóstico (83, 84):

1. ¿El animal presenta o no una cojera?
2. ¿Qué extremidad o extremidades están involucradas en la misma?
3. ¿En qué localización o localizaciones se localiza el problema?
4. ¿Cuál es la causa específica del problema?

Es muy importante realizar el examen completo de forma ordenada aunque numerosos factores pueden modificar o abreviar el examen. Puede ser que debido a problemas financieros del dueño no se puedan realizar determinadas pruebas, puede haber problemas de interferencias con análisis de drogas en animales de competición, o puede que el cliente no entienda la razón de ser de determinadas pruebas (como las anestesias diagnósticas). En animales con cojeras muy severas también es posible abreviar el protocolo pudiendo incluso estar contraindicado realizar todas las pruebas en casos de sospecha de fractura. Sin embargo en la medida de lo posible debe intentar realizarse un protocolo completo, ya que el uso de atajos suele llevar a diagnósticos erróneos y tratamientos incorrectos que pueden dejar al profesional veterinario en una situación incómoda (80).

Como se ha visto anteriormente, los pasos del diagnóstico de cojeras en caballos son los siguientes:

- **Anamnesis completa, incluyendo reseña y usos:** La anamnesis puede dividirse en una parte básica y una específica para el caso concreto. En la parte básica se deberían recoger los datos de la reseña (incluyendo edad, sexo y uso), historia clínica (qué ha sucedido, cuánto ha durado la cojera, deterioro o mejoría de la cojera, circunstancias en las que mejora y empeora, efectos del ejercicio sobre la mejoría o empeoramiento de la cojera), cambios de manejo (cambios en el herraje, en el entrenamiento o la intensidad del trabajo, en las superficies, en la dieta y el estado de salud, en la estabulación...), medicación actual y respuesta a la misma y patologías previas. En la parte específica se debe recoger el tipo de uso que tiene el animal (incluyendo grado de competición presente y futuro) y cuanta información adicional pueda aportar el propietario (vídeos, fotografías, informes...) (80).

  Hay que señalar que la reseña y el uso del animal son importantes para acotar las posibles cojeras que muestre el mismo. En animales de edad avanzada utilizados para trabajo de rancho y monta en caminos se observa una mayor incidencia de cojeras de las extremidades anteriores, articulaciones de baja movilidad (como la cuartilla o la tarsal distal) y ligamentos. Los caballos de carreras jóvenes muestran a menudo problemas en articulaciones de alta movilidad (como el carpo o el menudillo), distensiones de los flexores y fracturas por estrés. Los animales utilizados en pruebas de resistencia muestran con más frecuencia distensiones, tendinitis y fracturas por estrés de las falanges. Los caballos jóvenes empleados en disciplinas basadas en el manejo del ganado (*cutting horse*) muestran cierta predisposición a tener problemas en la babilla y cualquier animal joven que acaba de comenzar el entrenamiento puede presentar problemas ortopédicos (83).

  Cuando se pregunte al dueño o al jinete por la cojera que presenta el caballo hay que tener en cuenta que, en ocasiones, una cojera primaria debido a los movimientos de compensación que realiza el animal para minimizar las molestias, acaban derivando en una cojera secundaria en otra extremidad (80, 83).

- **Examen estático**

  - **Inspección:** Tras la anamnesis debe realizarse una inspección del caballo en la estación. Para ello debe situarse al animal en una superficie plana y observarlo inicialmente desde una cierta distancia y posteriormente en detalle y en ambos casos desde todos los ángulos posibles. Buscaremos en este examen alteraciones en los aplomos, cambios de distribución del peso, modificaciones y asimetría en el contorno de las extremidades y entre ellas, así como posturas anormales.

    En una situación normal, el caballo debería distribuir su peso de forma igualitaria sobre las dos extremidades anteriores, mientras va variando el peso de lado a lado en las posteriores. En este caso es muy importante la comparación bilateral ya que si la cojera lleva instaurada un tiempo se podrán apreciar cambios entre un lado y el contralateral. En el caso de las extremidades anteriores podemos encontrar el casco de la extremidad afectada menos desgastado y por tanto con el talón más elevado y una forma más cónica, con un casco más pequeño y atrofiado. También podemos encontrar una atrofia de los extensores por la reluctancia a extender correctamente la extremidad. En las extremidades posteriores una atrofia del glúteo medio o del gracilis suelen indicar la extremidad afectada, observándose también una asimetría de la cadera que parece rotada con una tuberosidad sacra más elevada que la contralateral (84).

Deben también buscarse otros signos de inflamación como el enrojecimiento de determinadas zonas. Si bien es difícil de apreciar por la pigmentación de la piel de los caballos, en algunas zonas como la base del casco o la corona puede observarse este enrojecimiento, especialmente en caballos con los cascos no pigmentados (80).

Además, también deben repasarse las deformidades locales como zonas aumentadas de tamaño y cicatrices o signos de traumas antiguos. Estos hallazgos de la inspección pueden ser la clave de más del 50% de los diagnósticos de campo y se manifiestan como amiotrofias o como deformaciones en relieve de consistencia variable. Podemos distinguir taras duras (óseas) y blandas (sinoviales) pero debemos tener también en cuenta que ciertos engrosamientos, particularmente ligamentarios, pueden ser tan duros como las taras óseas (81).

- **Palpación del animal, incluyendo pruebas de pinza en el casco:** La palpación de las extremidades es una importante prueba en el diagnóstico de la cojera. Esto es así ya que hay patologías que no cursan con una cojera evidente, y sin embargo sí producen un descenso del rendimiento. Es muy importante desarrollar un protocolo que obligue a realizar la palpación del animal completo (cada extremidad, el cuello, la espalda y la grupa) y es preferible realizarlo antes de ver moverse al animal para evitar que al ver una cojera evidente de una extremidad se desprecie el examen de las demás. Recordemos que podemos tener una cojera secundaria en una extremidad derivada de una compensación por una cojera primaria en otra. A la hora de realizar la palpación, se debe prestar atención a qué estructuras se están palpando. No es difícil palpar estructuras cercanas y producir reacciones dolorosas que pueden enmascarar el problema real o incluso crear falsos positivos al presionar puntos que son dolorosos *per se* (como la cara dorsal del tercer metacarpiano) sin necesidad de que exista una patología.

  Al realizar la palpación deben también buscarse otros signos de inflamación como el aumento del tamaño o de la temperatura de la zona. No obstante, al comparar unas extremidades con otras se debe recordar que el hecho de encontrar una anormalidad en una extremidad no exime de la existencia de otra en otra extremidad. También conviene recordar que no es extraño que no todas las extremidades tengan la misma temperatura, así podemos tener tres extremidades frías y una caliente y si realizamos el examen horas más tarde el incremento de temperatura se ha desplazado a otra extremidad (80). Sobre todo se deben palpar las estructuras accesibles que más frecuentemente ocasionan cojeras como el casco, ligamentos y tendones y articulaciones. Es muy interesante la palpación de zonas sensibles y se debe tener en cuenta que la sensibilidad se encuentra aumentada en los huesos en casos de fracturas u osteítis. También se debe saber que la sensibilidad de los tendones ayuda a establecer la incidencia de una deformidad, pero esta sensibilidad se puede ver alterada por la administración de antiinflamatorios (disminuida) o revulsivos (aumentada en piel) (81). Otro signo que debe observarse durante la palpación es el pulso digital. Hay que recordar que es más fácil que el pulso sea complicado de encontrar por causas naturales (frío, pelo...) a que aumente, por lo que un pulso aumentado en la zona debe ser interpretado como un signo clínico mientras que una dificultad para la localización del mismo, si bien puede ser debido a una trombosis, no tiene por qué tener una significación clínica. Durante esta palpación deben buscarse también posibles crepitaciones al palpar los huesos, lo que es un signo poco habitual y claro de patología.

Asimismo debe tenerse cuidado con las lesiones que puedan aparecer en la piel. Además, las lesiones derivadas de rozaduras con las botas, golpes, cortes... pueden inducir respuestas dolorosas fuertes sin tener ninguna significación ni relación con la cojera (80).

Por último, a la hora de realizar la palpación del casco no debe olvidarse la utilización de la pinza de casco. Dicho instrumento permite realizar pruebas sobre la palma, ranilla y tapas del casco. Esta prueba debe realizarse de forma sistemática cubriendo toda la superficie y en caso de tener un positivo debe verificarse que no ha sido una reacción del animal derivada del manejo, y no por dolor (84).

- **Test de flexión estáticos:** Evalúan la presencia de dolor a la movilización generado por la flexión o extensión y analizan la amplitud del movimiento buscando restricciones funcionales de carácter mecánico así como excesos de movilización articular. También se pueden valorar los ruidos articulares provocados en la movilización, pero realmente el significado clínico de estos es difícil de concluir.

Se deben realizar al menos las siguientes pruebas básicas (aunque existen pruebas más específicas para determinadas zonas, las expuestas a continuación son las que cualquier profesional debería realizar rutinariamente durante el diagnóstico de una cojera o durante una visita de compra) (81):

Extremidad anterior:

- *Protracción de la extremidad*: Extensión de hombro y codo.
- *Retracción de la extremidad*: Flexión de hombro y codo.
- *Flexión del carpo*.
- *Flexión global del dedo*: Flexión de las dos articulaciones interfalangianas y de la metacarpofalángica.
- *Test de hiperextensión digital o prueba de la tabla*: Extensión forzada con una tabla de las articulaciones del dedo, para forzar la compresión de la zona podotroclear -navicular- por parte del tendón flexor profundo del dedo.

Extremidad posterior:

- *Flexión global de la extremidad posterior*: El aparato recíproco de la extremidad posterior del caballo hace que, en situaciones normales, sea imposible flexionar una articulación de una extremidad posterior sin flexionar las demás, por lo que la prueba que se realiza se denomina test de flexión global de la extremidad posterior (hay autores que hablan solo de flexión del corvejón, pero, por lo que acabamos de decir, es una denominación errónea ya que se flexionan más cosas que solo el corvejón -cadera, babilla, corvejón, menudillo e interfalangianas-).
- *Protracción de la extremidad*: Extensión de todas las articulaciones, en sentido craneal.
- *Retracción de la extremidad*: Extensión de todas las articulaciones, en sentido caudal.

- **Examen dinámico**

  - **Observación del animal en marcha en movimientos naturales:** Consiste en la observación del animal en movimiento y de las características de la marcha en todas las extremidades. Normalmente se realiza desde una cierta distancia y sin quitar las herraduras. El objetivo consiste en identificar la extremidad o extremidades de las que cojea el animal y en qué grado lo hace. Se pondrá el caballo al paso y al trote, tanto en línea recta como en círculos en ambos sentidos.

    Con estos ejercicios se buscan modificaciones en los andares del caballo derivados de la presencia de una cojera (modificaciones en la extensión de las extremidades, en la elevación de las mismas, en los movimientos de la cabeza y la cadera...). El indicador más claro en el caso de las cojeras que afectan a extremidades anteriores es el movimiento de la cabeza que el animal levanta cuando la extremidad afectada toca el suelo para retirar peso de la misma y cae cuando la extremidad sana contacta con el suelo. En el caso de la trasera ocurre algo similar con el movimiento de la pelvis que se eleva cuando la extremidad afectada toca el suelo y baja cuando lo hace la sana, haciendo que oscile más la cadera del lado afectado que del lado sano. Este movimiento, en cualquier caso, es muy evidente solo en cojeras importantes. En el caso de una cojera leve, debe observarse cuidadosamente todo el movimiento del caballo para determinar realmente en qué momento se produce la elevación de la cabeza o la cadera (83).

    A la hora de realizar esta exploración debemos tener en cuenta varios detalles: primero la cuerda debe ir holgada, con suficiente espacio para que el caballo pueda realizar el cabeceo, en segundo lugar el animal debe moverse con una velocidad lo más constante posible para poder evaluar de la forma más adecuada la cojera, y por último, es muy importante la superficie sobre la que se realiza la prueba. De forma ideal debe examinarse sobre una superficie plana y lisa teniendo en cuenta que sobre superficies deslizantes como el cemento o el asfalto muchos animales pueden modificar las fases del paso debido a que la herradura no tiene una buena actuación sobre estas superficies y puede resbalar. De forma ideal se examinará el animal en ambas superficies (blanda y dura), siendo más evidentes en suelo duro las cojeras causadas por afecciones de tejidos duros cercanos al suelo, y en suelo blando las producidas por procesos patológicos que afectan a tejidos blandos (80).

    En concreto las pruebas que se incluyen en esta fase del examen son:

    - *Paso en línea recta*: Observado desde adelante y desde detrás y también desde los lados, para observar si hay cambios en la fase anterior y posterior del paso.
    - *Prueba del ocho*: Consistente en hacer realizar al caballo círculos cerrados a una mano y otra, como si se dibujara un ocho en el suelo, al paso.
    - *Trote en línea recta en suelo duro.*
    - *Trote en círculo a ambas manos en suelo duro.*
    - *Trote en círculo a ambas manos en suelo blando.*
    - *Galope en círculo.*

- **Observación de la marcha del animal tras la realización de los test de flexión dinámicos:** Se desarrollaron durante los inicios del siglo XX aunque inicialmente no había información sobre la fuerza que había que ejercer, grados de flexión de las articulaciones o duración de las pruebas (80). La mayoría de estas pruebas tienen una duración entre 30 y 60 s tras los cuales debe obligarse al animal a trotar observando si la cojera aumenta y si lo hace de forma constante o tan solo en las fases iniciales del trote. Deben interpretarse siempre bajo la perspectiva de otras pruebas realizadas ya que se han observado gran cantidad de falsos positivos (80, 84). La respuesta positiva, por tanto, está muy relacionada con la fuerza aplicada a la hora de realizar la prueba. Se ha observado que el 40% de los caballos devuelven un resultado positivo cuando se realiza un test de flexión normal de la parte distal de la extremidad. Este resultado se eleva cuando se realiza un test "firme". Otros estudios revelan que más de un 60% de caballos sanos dan resultados positivos a estas pruebas realizadas sobre la parte distal, y que ese porcentaje se incrementa con la edad (84). No obstante hay una cierta polémica y otros autores consideran estas pruebas muy eficaces a la hora de explorar el aparato locomotor, aunque exigen un conocimiento profundo de las estructuras movilizadas (81).

  Por ese motivo es esencial la existencia de coherencia a la hora de realizar estas pruebas. Deben realizarse en ambas extremidades para comparar la respuesta y debe realizarlas la misma persona, aplicando la misma fuerza durante el mismo tiempo, y primero en la extremidad sana y posteriormente en aquella sobre la que existe sospecha de cojera para estimar la respuesta basal del individuo. Se acepta que el test de flexión ideal se realice aplicando una fuerza de 100 N durante 1 min a la articulación ya que se ha comprobado que con esa combinación no hay gran cantidad de falsos positivos. Otros autores abogan por realizar el test durante un tiempo entre 30 s y 1 min ejerciendo una fuerza mayor. La máxima fuerza a la que se pueden realizar estas pruebas sin generar una gran respuesta en caballos sanos es de 150 N. Una vez realizada la flexión debe llevarse el animal al trote alejándolo del examinador entre 12 y 15 m para evaluar la respuesta a la prueba (80).

Pruebas complementarias

- **Realización de anestesias diagnósticas:** En muchos casos, la anamnesis y los exámenes estático y dinámico permiten sospechar el origen de una cojera, pero no determinar con exactitud su origen. Para poder realizar la determinación topográfica definitiva del origen de la cojera se puede recurrir a la realización de anestesias nerviosas locales (perineurales o intrasinoviales). Para la realización de estos procedimientos se pueden utilizar anestésicos locales como la lidocaína, procaína (contraindicada para su uso intrasinovial), tetracaína, mepivacaína y bupivacaína. Estos anestésicos tienen un buen efecto y una rápida instauración sobre fibras nerviosas finas amielínicas, peor efecto en las mielinizadas y aún peor en las muy mielinizadas. De este modo se puede establecer una cronología precisa de desaparición de funciones sensitivas de los nervios permitiendo el mantenimiento de las funciones motoras (86).

  A la hora de realizar las anestesias perineurales hay unos principios básicos que deben observarse para asegurar el éxito. En primer lugar es necesario un conocimiento de la anatomía aplicada de la zona. En segundo lugar, siempre deben iniciarse los bloqueos desde la zona más distal hacia la proximal y asegurarse que estos han sido eficaces antes de seguir con el siguiente bloqueo. Para asegurar esta eficacia debe compararse la reacción a los estímulos dolorosos de la piel en la zona bloqueada con la reacción al

mismo estímulo en la extremidad contralateral para diferenciar reacción basal y dolorosa. Para asegurar que la reacción del animal es debida a una falta de anestesia y no a una reacción consciente del mismo pueden taparse los ojos del caballo, comprobar con instrumental romo la ausencia de sensación táctil y realizar la misma comprobación en la extremidad contralateral a la que se encuentra situado el profesional (80).

Además debe tenerse en cuenta que debido a alteraciones anatómicas propias del individuo, la zona anestesiada puede diferir de la que teóricamente debería anestesiarse (80, 86). Este fenómeno debe minimizarse con volúmenes reducidos de anestésico evitando así al máximo una difusión elevada del mismo, aunque no podrá eliminarse por completo. También debe prestarse atención al tiempo transcurrido entre la inoculación y el comienzo de la prueba, ya que conforme este tiempo aumenta, el anestésico se difunde afectando a más estructuras cercanas. Por ello se recomienda utilizar anestésicos asociados a vasoconstrictores como la adrenalina (cuyo uso puede cursar con necrosis cutánea en el punto de inoculación), y realizar las pruebas en un tiempo corto teniendo en cuenta que la instauración de la anestesia suele producirse en tan solo 3 a 5 min mientras que una analgesia completa pueda llegar a requerir 10 min (86). Si bien idealmente la respuesta al bloqueo anestésico sería del 100% y la cojera remitiría por completo, se debe saber que esto no suele ser así y se considera como respuesta positiva una reducción del 70% y 80% en la mayoría de los casos. Esto es así porque el dolor crónico, particularmente el óseo profundo, es muy resistente a la analgesia cuando se utilizan técnicas perineurales, pero también porque tiene un origen mecánico y no doloroso (80).

Una respuesta común a la anestesia diagnóstica en patologías bilaterales es el cambio de la cojera a la extremidad contralateral, debido a que al disminuir el dolor basal causante de la cojera, aumenta el dolor de la extremidad contralateral. También es necesario tener en cuenta que existen situaciones en las que está totalmente contraindicado efectuar anestesias diagnósticas, ya que la abolición del dolor podría complicar dramáticamente la patología causante. Por ejemplo, esto se produce en animales con dolor en el área proximal palmar del metacarpo causado por una desmitis del ligamento suspensorio, una fractura de avulsión de la cara palmar del tercer metacarpiano o una tendinitis de la zona proximal del flexor digital superficial. En este caso debido a la falta de propiocepción, es posible que el caballo alargue la fase craneal del paso exagerando el mismo y aumentando la percepción de la cojera. Otra situación peor es aquella en la que puede agravarse la cojera hasta el punto de desaparecer el apoyo de la extremidad cuando remiten los efectos de la anestesia, esto sucede en casos en que una fractura incompleta se separa, desplaza o desmenuza dándose sobre todo en animales con fracturas incompletas o parcialmente fibrosadas de las falanges proximal o distal (80).

A la hora de realizar una anestesia diagnóstica deberán evitarse siempre las sedaciones y en caso de ser necesaria para el examen de un animal poco dócil deberá realizarse antes de comenzar la exploración inicial (86). Debemos tener en cuenta que los anestésicos pueden llegar a producir una ataxia que complique el diagnóstico (80) y deben escogerse tranquilizantes que carezcan de efecto analgésico que pueda enmascarar la cojera como, por ejemplo, la acepromacina (83), aunque en muchos casos se recurre a métodos de contención no farmacológicos como el acial (o torcedor).

Antes de realizar la punción, el pelo y la piel deben lavarse eliminándose todos los restos de suciedad y si existe la posibilidad de puncionar por error una cavidad sinovial, deberá

realizarse una preparación aséptica de la zona (aunque no será necesario recortar el pelo ya que no hay evidencia científica que recomiende el rasurado del pelo en la zona no encontrándose diferencias entre rasurarlo o no). En casos en los que haya una herida en la piel y no pueda limpiarse de forma efectiva se deberá esperar a que la herida remita y pueda realizarse esa limpieza (80).

Se usarán agujas con diámetros entre 25 y 18 G en función del temperamento del animal (cuanto más finas menos dolor producen, pero es más fácil que puedan romperse con un movimiento involuntario del caballo) que se introducirán previamente y sin jeringa. Una vez situada la aguja en posición se procederá a la inoculación del anestésico tras lo cual se esperarán entre 5 y 10 min y se comprobará la efectividad del bloqueo. Una vez finalizado el procedimiento se aplicará un vendaje con alcohol para minimizar la inflamación (80).

La duración de la anestesia dependerá del producto utilizado y estará influenciada por la potencia del mismo. Así la lidocaína tendrá una duración inferior a 1 h, la procaína asociada a propoxicaína tendrá una duración cercana a 1,5 h y la mepivacaína puede alcanzar las 2 h (86). La bupivacaína posee una acción más larga que todas las anteriores y puede llegar a alcanzar las 6 h de duración, lo que puede ser útil en caso de querer realizar cirugías posteriores (84).

La otra opción disponible en las anestesias diagnósticas son las anestesias intrasinoviales. Éstas son más específicas para anestesiar estructuras sinoviales concretas como vainas tendinosas o estructuras articulares concretas aunque en determinados casos en que los nervios pasan muy cerca de las estructuras pueden dar información contradictoria como ocurre en los bloqueos de la articulación interfalángica distal, tarsometatarsal y carpal media (83). De hecho, la anestesia intrasinovial en el casco es la técnica menos específica existente para buscar dolor en el mismo (87) (Tabla 5.1). En el caso de la anestesia intrasinovial es necesaria la preparación aséptica de la piel y el uso de material estéril. Después de preparar la zona durante 5 a 7 minutos con jabón antiséptico, se debe aclarar con una solución antiséptica o estéril y posteriormente proceder a la realización de la técnica. No es necesario recortar el pelo, ya que los estudios demuestran que se puede preparar la piel adecuadamente sin necesidad de rasurarlo (80, 83, 87). Se debe tener en cuenta que si bien la inoculación subcutánea no estéril no tiene consecuencias graves, la inyección intrasinovial de estas características puede ser desastrosa (87).

Proceso Patológico	Bloque del nervio digital palmar	Bloqueo de la articulación interfalángica distal	Bloqueo de la bolsa del navicular
Enfermedad del navicular	+	±	+
Sinovitis de la IFD	+	+	+
Osteoartritis de la IFD	+	+	+
Hueso subcondral de la IFD	+	±	±
Fractura de cartílagos alares de F3	+	+	-
Fractura F3 (sagital media)	±	+	-
Fractura proceso extensor F3	±	+	-
Osteítis Podal	+	±	±
Absceso Subsolar	+	±	±
Dolor Palmar caudal	+	±	±
Dolor palmar lumbres	+	±	+
Tendinitis FDP	+	-	-
Entesopatía de inserción del FDP en F3	+	±	-
Talón atrofiado (talones asimétricos)	+	-	-
Necrosis de cartílagos alares de F3	+	-	-
Laminitis (lumbres, zona de proyección de F3)	-	-	-
Laminitis (zona caudal)	+	±	-
Cuarto (grieta del casco) en lumbres	-	-	-
Cuarto (grieta del casco) en cuartas partes o talones	+	±	-
Desmitis del sesamoideo distal	±	-	-
Patología de la IFP	±	-	-
Patología de la VTFD	±	-	-
Fractura F2	±	±	-
Fractura F1	±	-	-

FDP: flexor digital profundo, VTFD: vaina de los tendones flexores digitales, IFD: articulación interfalángica distal, F1: falange proximal, F2: falange media, F3: falange distal, IFP: articulación interfalángica proximal.

Tabla 5.1: Principales procesos patológicos que cursan con la aparición de cojeras, y su respuesta a los diferentes bloqueos anestésicos (80)

- **Realización de pruebas de diagnóstico por imagen:** Entre las pruebas de diagnóstico por imagen que se pueden realizar a nivel de campo para confirmar una sospecha diagnóstica están, fundamentalmente, la radiografía y la ecografía:
  - *Radiografía*: Puede utilizarse fundamentalmente para evaluar el tejido óseo y las articulaciones.

En el análisis de las articulaciones deben examinarse los márgenes de la articulación, el hueso subcondral, el espesor del cartílago articular (a menudo mal denominado como espacio articular), las zonas de inserción de la cápsula y el alineamiento de la articulación, en busca de defectos.

Por otro lado deben evaluarse las estructuras óseas, para lo cual se deben conocer las posiciones anatómicas normales de las protuberancias y las fosas. La reacción del hueso a los procesos patológicos es limitada y puede consistir en la producción de hueso, destrucción de hueso o alteración de la forma. Pueden detectarse varios procesos en el tejido óseo mediante la realización de radiografías (88):

- *Entesopatía:* Corresponde con un proceso patológico de la zona de inserción de un tendón, ligamento o cápsula articular en un hueso. Producidas principalmente por traumatismos, procesos inflamatorios o degenerativos, pueden cursar con erosión del hueso, proliferación, hiperostosis, fragmentación, mineralización del tejido circundante o aparición de fracturas de avulsión.

- *Reacciones del periostio:* La respuesta del periostio se estimula con la presencia de hemorragia, pus, edema o infiltración neoplásica. La producción de tejido óseo puede ser aguda o crónica. Una reacción aguda muestra un borde difuso, irregular y puede ser continuo, discontinuo, laminado o espiculado. Es una reacción activa. Una reacción crónica por contraparte tiene un borde liso y bien definido, es sólida y normalmente se funde con la cortical adyacente. Suele ser un proceso inactivo que muestra un proceso curado.

- *Cambios corticales:* Los cambios corticales identificables radiográficamente consisten en defectos, erosiones, lisis y cambios de grosor. El defecto más común son las fracturas y deben diferenciarse de agujeros nutricios, líneas fisarias y sombras de otros huesos sobreimpuestos. En ocasiones las fracturas no son bien visibles y la única reacción observable es la reacción del periostio o del endostio. La lisis de la cortical suele ser causada por procesos infecciosos y muestra un patrón permeable y carcomido. Puede también aparecer formando un secuestro, con una zona central de hueso denso rodeado por una zona lítica. Las erosiones en la corteza suelen originarse en el periostio aunque pueden producirse también desde el endostio. Aquellas con un borde irregular suelen ser resultado de procesos infiltrativos en el hueso y suelen tener un origen infeccioso; por el contrario las lisas suelen ser resultado de una erosión por presión. La radiopacidad de los huesos puede verse también incrementada o disminuida. Un aumento de la radiopacidad viene asociado a una pérdida del diseño trabecular secundario a la aparición de hueso en la cavidad medular. La disminución de la radiopacidad, en cambio, puede deberse a una disminución en el uso de la extremidad o distalmente a una fractura.

- *Cambios en el espesor del cartílago articular*: A pesar de no aparecer como tal en las placas de radiografía, el cartílago articular puede apreciarse como una banda radiolúcida presente entre ambas estructuras óseas de la articulación (aunque en demasiadas ocasiones dicha banda se denomina erróneamente en la literatura como “espacio articular”). Mediante el uso de esta técnica puede valorarse su grosor y forma, así como cualquier alteración del mismo.

- *Osteofitos*: Consisten en pequeñas neoformaciones óseas en los márgenes de una articulación producidos por estímulos de diversa índole como inestabilidad articular o patologías intraarticulares, en especial la osteoartritis. La presencia de osteofitos no implica necesariamente la presencia de un proceso clínico pero la diferenciación radiológica de los subclínicos y los clínicos es difícil (80).

- *Ecografía*: La ecografía se utiliza para la visualización de tejidos blandos, generalmente tendones y ligamentos, en caso de inflamación o engrosamiento de los mismos para determinar su causa. Se debe realizar un estudio ecográfico pormenorizado para verificar si realmente existe o no lesión, y si esa lesión tiene algún significado clínico. En ocasiones deberá complementarse con otras pruebas como la radiografía, resonancia magnética o escintigrafía.

  El resultado puede ser muy dependiente del momento de la prueba. Inicialmente el edema peritendinoso puede dificultar el correcto análisis de las fibras. Además, la liberación de enzimas puede aumentar el daño de las mismas en el tiempo. Se concluye que de forma ideal el análisis ecográfico debe realizarse entre 48 y 72 h tras la lesión, y de realizarse antes, debería repetirse pasadas 72 h. Estas mismas 72 h es el tiempo que duran las lesiones hipoecoicas y anecoicas correspondientes a hemorragias, seromas, edemas y rotura de fibras. Por este motivo también es conveniente reevaluar pasado ese tiempo, para evitar esas lesiones a la hora de realizar el diagnóstico. Los exámenes ecográficos deberán realizarse de forma seriada en el tiempo hasta asegurar la completa curación del ligamento antes de devolver la utilidad atlética al animal (80).

A la hora de realizar un diagnóstico completo de cojeras hay otras pruebas complementarias que también podrían realizarse. Pueden hacerse exámenes neurológicos, gammagrafías… (80). Sin embargo, la aplicación que se quiere desarrollar es para la docencia de grado, por lo que los aspectos observados son aquellos que un recién egresado debería dominar.

Finalmente, debemos recordar que todos los pasos anteriormente descritos para el correcto diagnóstico de una cojera en caballos se encuentran reflejados directamente en las "Competencias de día 1" antes citadas que un recién egresado debe poseer (1–3, 79), y su inclusión en el currículo académico debe ser prioritaria. Sin embargo, los casos disponibles presentes en los centros cuando los discentes tienen las prácticas programadas no suele ser suficiente para asegurar la adquisición de estas importantes competencias.

5.3 Material y métodos

5.3.1 Sistematización del proceso para su implementación como herramienta web mediante el uso de DFD

Todo proceso de desarrollo de software debe comenzar con un análisis detallado de la aplicación a desarrollar. En este paso inicial debe esclarecerse qué va a hacer la aplicación, cómo lo va a realizar y qué pasos debe seguir. De este modo, posteriormente en el diseño se pueden decidir los módulos necesarios para el correcto funcionamiento de la aplicación y maximizar la eficiencia a la hora del proceso de desarrollo. El resultado de esta fase consiste en una serie de Diagramas de Flujo de Datos (DFD) que se muestran en el apartado de resultados.

El procedimiento clásico para el diagnóstico de cojeras en caballos es ya *per se* un procedimiento muy sistematizado y protocolizado, dividido a su vez en procedimientos menores, lo que le permite ser mimetizado con cierta facilidad por un simulador de las características del que proponemos en esta Tesis.

No obstante, hay que tener muy claro desde el principio qué pasos debe realizar el usuario y en qué orden debe realizarlos. Para ello, se han realizado una serie de DFD en los cuales se observan los pasos que el usuario puede seguir en el simulador.

Al ser una herramienta docente para la formación pre-grado, en esta fase se observaron con especial atención posibles "caminos alternativos" que podía seguir un usuario para llegar hasta el final del proceso sin seguir unos pasos mínimos necesarios y se intentaron acotar en la medida de lo posible sin coartar tampoco la "libertad diagnóstica".

Se analizó también la posibilidad de que el usuario llegara hasta el final del procedimiento diagnóstico por puro azar. Si bien este caso es posible y en algunos casos no especialmente difícil (en la elección de la extremidad afectada hay tan solo cuatro opciones posibles con una correcta; en el caso del diagnóstico definitivo la probabilidad se reduce a un caso correcto de seis posibles, lo que igualmente representa una probabilidad elevada de acertar fruto del azar) no supone un problema importante para esta aplicación. Con ella se busca que el usuario aprenda la sistemática del diagnóstico de las cojeras en caballos para que aumente el aprovechamiento de las prácticas con casos clínicos reales; la aplicación no busca inicialmente la evaluación del discente, aunque servirá como herramienta de autoevaluación. El azar en el diagnóstico por tanto no es importante en este caso, y además se encuentra minimizado su impacto porque una vez el usuario emite un diagnóstico, la aplicación responderá con las causas de su acierto o fallo, por lo que en caso de acertar por una causa incorrecta o aleatoria podrá ser consciente de la realidad.

El sistema procura guiar al usuario lo mínimo posible pero sí que se procuró establecer una serie de "hitos" que se deben completar antes de avanzar a una segunda fase del diagnóstico. Esto se realiza para que el usuario interiorice los pasos mínimos necesarios para un correcto diagnóstico del proceso patológico.

Para asegurar este recorrido mínimo, el diagnóstico se dividió en dos grandes bloques separados por la identificación o no de la extremidad en la que el animal muestra la cojera (en esta versión inicial del simulador no se permiten casos de cojeras múltiples).

Inicialmente la aplicación permite elegir un caso entre cinco diferentes (que se encuentran organizados por la dificultad de los mismos) en una pantalla inicial en la que también se le muestran al usuario los diferentes temas de ayuda de que dispone.

Una vez seleccionado un caso, el usuario accede al primer bloque de pruebas diagnósticas. Desde este bloque no se le permite emitir un diagnóstico y debe realizar al menos dos pruebas para poder identificar la extremidad afectada. Las pruebas presentes en esta sección son anamnesis, examen estático y examen dinámico. En los exámenes estático y dinámico se le permite también la realización de pruebas de flexión existentes.

Una vez realizadas dos pruebas, la aplicación permite diagnosticar la extremidad afectada. En caso de error obligará a realizar nuevas pruebas y en caso de acierto permite continuar hasta el segundo bloque de pruebas diagnósticas.

En este segundo bloque se dispone de dos sub-bloques de pruebas: las anestesias diagnósticas, y las pruebas de diagnóstico por imagen.

En el bloque de anestesias diagnósticas, el simulador permite elegir región, tipo y zona a anestesiar mostrando posteriormente un vídeo del animal trotando tras la aplicación de la anestesia seleccionada.

En el caso del diagnóstico por imagen, la aplicación ofrece la realización de radiografías y ecografías. En el apartado del examen radiológico se permite la realización de cualquier radiografía posible y con un dosímetro virtual se muestra el momento en que el número de exploraciones radiográficas es excesivo. El apartado del examen ecográfico muestra tan solo imágenes de exploración cuando es pertinente realizar el mismo.

Por último, cuando el usuario decida emitir un diagnóstico la aplicación le propondrá seis posibles diagnósticos ordenados al azar para evitar que se memorice la posición de la opción correcta. Una vez el usuario elija una de las opciones, la aplicación evaluará al usuario. En caso de optar por una opción incorrecta permitirá repetir el diagnóstico hasta conseguir el diagnóstico correcto.

5.3.2 Análisis del material necesario para documentar los casos y sistematización de la nomenclatura de los archivos

Una vez diseñado el recorrido que debería realizar el usuario para completar el diagnóstico de la cojera era necesario definir qué material debería reunirse para poder realizar la aplicación y documentar los casos completamente. Se observó en el protocolo que es necesario un importante apoyo multimedia con vídeos e imágenes para que el usuario pudiera realizar todos los pasos necesarios.

Se recogerían fotografías para que se pudiera realizar una exploración visual del animal en la estación, ilustrando la parte de inspección del examen estático. Estas imágenes se procesarían para que el usuario pudiera ver en detalle cada extremidad. Se recogerían de ambos lados del animal con igual detalle, así como en vista frontal de las extremidades anteriores y caudal de las posteriores.

También se incluyeron fotografías de los test de flexión estáticos para ilustrar la forma correcta de realizar las pruebas con detalle. Estas imágenes son las mismas para todos los casos. Se complementaría su interpretación mediante un texto en el lateral de las mismas.

En cuanto al vídeo, se deberían recoger vídeos de los casos realizando movimientos naturales (paso, paso vista lateral, paso prueba del ocho, trote en línea recta y trote en círculo en ambas manos). De igual manera, se grabarían en vídeo todos los resultados de los test de flexión dinámicos que pudieran realizar los usuarios y los obtenidos después de la realización de las anestesias diagnósticas que tuvieran un resultado positivo. Se codificarían en los formatos OGG, WMV y MP4. Se minimizó al máximo el número de vídeos y, al mismo tiempo, se introdujeron varios de cada opción. De esta forma se evitaba que el usuario se aprendiera el vídeo en lugar de observar si era o no positivo pero se mantenía el tamaño de la aplicación lo más contenido posible.

También se recogerían imágenes de radiografías y ecografías para permitir al discente conocer el resultado de estas pruebas (que son explicadas en cursos anteriores). En este caso se digitalizarían varias radiografías genéricas de cada articulación que la aplicación muestra en cada caso, no mostrando siempre la misma. En el caso de existir una alteración en una de las pruebas se sustituye la radiografía genérica por la concreta del caso en la que se muestre dicha alteración.

En el caso concreto de la ecografía se recogieron imágenes significativas del proceso patológico en caso de poder obtenerse. En caso contrario se muestra un mensaje anunciando que no es posible realizar el estudio por lo que no era necesaria la recogida de material gráfico.

5.3.3 Análisis y elección del método de autoevaluación

Dentro de las opciones de autoevaluación se optó por una en la cual el usuario fuera consciente de si su diagnóstico había sido o no adecuado, y por qué.

De este modo, si ha acertado por puro azar (16,6% de probabilidad) tendrá una justificación sobre los aspectos en los que se debería fijar para revisar el caso y poder apreciar los detalles concretos del caso.

En caso de fallar, la aplicación comunicará qué detalles imposibilitan la compatibilidad del diagnóstico real con el escogido, para que de esa manera sepa qué no ha observado o qué ha observado de manera incorrecta.

5.3.4 Temas de ayuda

El diseño de la aplicación se realizó en todo momento basado en el aprendizaje autónomo. La herramienta es sencilla y está preparada para ser utilizada sin necesidad de asistencia constante por parte de un experto y para que el usuario pueda realizar los pasos que necesite al ritmo que considere necesario para aprovechar la aplicación al máximo. Sin embargo, y para que el usuario no esté completamente "abandonado" en la elección de los pasos a seguir, se incluyeron una serie de temas de ayuda para que pudiera guiarse. Estos se pueden descargar como presentación en formato Microsoft PowerPoint en la pantalla de selección del caso y en la de selección de prueba del examen inicial.

Los temas que se facilitan son Recuerdo Anatómico, Método de diagnóstico de cojeras, Anatomía Radiológica, Anatomía Ecográfica, Anestesias Diagnósticas y Ficha de Cojeras.

Mediante este recordatorio teórico se espera que el alumno sea capaz de saber qué pasos debe realizar en teoría antes de realizarlos y en qué debe fijarse en cada fase.

Estos temas son la base que el usuario necesita para utilizar la aplicación del mismo modo que la aplicación es la base necesaria para poder aprovechar al máximo los casos prácticos reales.

5.3.5 **Diseño de la aplicación**

Como se ha visto anteriormente, para poder realizar un mantenimiento correcto de la aplicación y una ampliación de la misma en el futuro lo ideal es crear una aplicación multicapa que permita diferenciar en tres capas diferentes los componentes de la misma.

Así pues, el diseño de la aplicación se produjo con tres capas diferenciadas: GUI, capa de negocio y capa de datos. El diseño además de ser multicapa también es multinivel: el procesado de la GUI se ejecuta en el equipo del usuario mientras que la capa de negocio se procesa en un servidor web y los datos se almacenan en un servidor MySQL. Estas dos últimas capas podrían ejecutarse en un mismo nivel y dependerá de la estructura que tenga el proveedor del alojamiento web donde se aloje la aplicación.

La GUI consiste en una interfaz web basada en HTML5 compatible con prácticamente todos los navegadores web modernos así como los antiguos. Se diseñó una interfaz limpia y atractiva de forma que los usuarios tengan en todo momento claras sus opciones intentando evitar la frustración proveniente del aprendizaje de una nueva herramienta informática que no se conoce. El tamaño de la interfaz se diseñó con unas dimensiones de 640 por 480 píxeles manteniendo así la retrocompatibilidad con los dispositivos más antiguos. Toda la información útil se muestra en la zona central de la pantalla mientras que en la zona superior se localiza la situación del usuario y en la inferior las opciones disponibles o los documentos de ayuda. Cuando el usuario emite un diagnóstico, bien identificando la extremidad afectada o bien la patología presente, el color del fondo de la aplicación se modifica a rojo o verde en función de la validez de la respuesta.

Para asegurar la compatibilidad de la reproducción de los vídeos en los navegadores web antiguos (recordemos que Internet Explorer 6, presente en muchos equipos de muchas universidades aún, no es compatible con este estándar) se introdujo una etiqueta HTML5 <VIDEO> y en su interior la etiqueta antigua con la información para embeber un reproductor de vídeo *flash*. Un navegador moderno interpretará la etiqueta <VIDEO> ignorando el código obsoleto de su interior, mientras que un navegador antiguo no entenderá la etiqueta <VIDEO> ignorándola y pasará directamente al reproductor *flash* embebido cuya etiqueta <EMBED> sí será capaz de interpretar lanzando la reproducción del vídeo en formato WMV. Dentro de la etiqueta <VIDEO> se indicaron las rutas a los dos formatos de vídeo OGG y MP4 para que en función del navegador utilizado por el usuario se utilice uno u otro archivo.

La capa de datos se construyó usando dos grandes bloques: por un lado la base de datos con los resultados y los textos, y por otro lado los archivos multimedia de apoyo. Estos últimos no se introdujeron en la base de datos porque aumentaría exponencialmente el tamaño de esta, obligando a realizar muchos accesos a la misma y bajando considerablemente el rendimiento de todo el sistema.

La base de datos contiene toda la información referente a cada caso y los resultados de cada prueba realizable. Cuando se "realiza" una prueba, la aplicación accede a la base de datos en busca del resultado mostrando uno u otro. En la base de datos se almacenó el resultado y un operador para indicar si este es positivo o negativo, de forma que la GUI lo interpreta correctamente.

Los materiales multimedia de cada caso se almacenaron en un directorio normalizado para cada uno de ellos como veremos más adelante. De este modo el sistema solo tiene una variable correspondiente al caso que se está revisando. Adicionalmente, se creó un único directorio para los archivos comunes a todos los casos.

La capa de negocio interconecta las solicitudes realizadas por el usuario desde la GUI a los datos de la aplicación. Posee además todos los operadores encargados de verificar que el usuario realiza los pasos que debe realizar y almacena las pantallas por las que ha pasado así como la identidad del mismo. El almacenamiento de estos datos es temporal y tan solo dura mientras dure la sesión del usuario. Gracias a estas contramedidas el usuario no puede emitir un diagnóstico sobre la extremidad afectada sin haber realizado al menos dos pruebas de las presentes en el examen inicial ni acceder a las pruebas complementarias sin haber realizado el diagnóstico de la extremidad primero. También gracias a este control se puede mostrar al usuario en el apartado de examen radiográfico si se está realizando un número excesivo de radiografías.

La capa de negocio es también la encargada de interpretar en parte los datos almacenados en la base de datos. Las pruebas del examen complementario se realizan después de haber emitido el diagnóstico de la extremidad afectada, motivo por el cual están restringidas en la base de datos las pruebas que se pueden realizar en cuanto a anestesias diagnósticas, placas radiográficas y ecografías se refiere. La capa de negocio es la encargada de analizar si un resultado es positivo, negativo o inadecuado y envía la señal a la GUI para que esta muestre ese resultado acorde a la corrección o no del mismo. Es también la encargada de verificar si una prueba puede realizarse o estaría contraindicada su realización, enviando igualmente la señal a la GUI para que muestre o no la opción correspondiente.

5.3.6 Recogida de material multimedia y documentación de casos. Normalización y edición del material recogido

Los casos seleccionados para poblar la aplicación fueron casos reales que llegaron al Hospital Veterinario de la Universidad de Zaragoza (HVUZ) y que cumplían los siguientes requisitos: eran cojeras de una única extremidad, claramente visibles y en las que se podía recoger todo el material necesario con la suficiente calidad para permitir un aprovechamiento correcto de la aplicación. En todos los casos se disponía del permiso del propietario para la inclusión de los casos en el programa, y se modificó el nombre del animal para evitar que sea reconocible. Se recogieron los datos entre los años 2006 y 2008.

El material gráfico se recogió mediante una cámara de fotografía digital Canon G11 y una cámara de vídeo digital Canon FS10 para la adquisición de fotografías y la captura de vídeos respectivamente.

Se realizaron fotografías en detalle de cada test de flexión estático con un caso tipo. Estas fotografías son comunes para todos los casos y se utilizan siempre las mismas.

De cada caso se tomaron fotografías de ambos laterales, el frente y la parte posterior del animal en la estación con detalle en las extremidades. Se tomó también una imagen de la cara para la página de selección del caso. Estos archivos posteriormente se recortaron para mostrar solo la zona a examinar y se montaron sobre unas imágenes tipo divididas por extremidad, proyección y sección. Estas imágenes tipo consisten en la vista detalle de la zona a examinar y un sombreado de esa zona a situar sobre una imagen esquemática de un caballo, de forma que el usuario pudiera ver el detalle en la vista de detalle y el sombreado sobreimpuesto al esquema. Estas imágenes se

cargarán en la GUI cuando el usuario sitúe el puntero del ratón sobre esa zona en una imagen esquemática de un caballo.

Posteriormente se rellenó un formulario en el que aparecían todas las preguntas preparadas de la anamnesis. Estas preguntas son las mismas para todos los casos y no son todas pertinentes. Se intentó que las respuestas a estas preguntas fueran lo más realistas posible y se encuentran redactadas conforme un propietario podría responderlas. Las preguntas recogidas fueron:

- ¿Qué uso se le da al animal?
- ¿Cuál es la edad del animal?
- ¿Cómo ha evolucionado la cojera desde su aparición?
- ¿Habéis tratado anteriormente la cojera? ¿Cómo ha respondido a esos tratamientos?
- ¿Se ha mojado en los últimos días?
- ¿Desde cuándo cojea?
- ¿Cuál es el sexo del animal?
- ¿Cuál es el plan vacunal del animal?
- ¿Ha padecido alguna otra cojera anteriormente?
- ¿Cuál es la capa?
- ¿Cuál es su nivel de trabajo?
- ¿Desde cuándo está herrado?
- ¿En qué circunstancia apareció la cojera?
- ¿Cuál es la raza del animal?
- ¿Cómo influye el trabajo en la aparición de la cojera?

Tras la realización de la anamnesis, las fotografías de la exploración y las fotografías de los test de flexión estáticos, se recogieron vídeos del caballo en movimiento al paso y al trote. Los vídeos recogidos se codificaron en formato WMV, Thedora/OGG y MPEG-4/MP4 que se añadieron al directorio de cada caso. Se eliminó el audio de todos ellos.

Los vídeos recogidos fueron:

- Paso
- Paso, vista lateral
- Paso, prueba del ocho
- Trote en línea recta
- Trote en círculo mano izquierda, suelo duro
- Trote en círculo mano derecha, suelo duro

Posteriormente, se realizaron y grabaron en vídeo los siguientes test de flexión dinámicos:

- Global del dedo anterior izquierdo
- Carpo anterior izquierdo

- Global del dedo anterior derecho
- Carpo anterior derecho
- Global posterior izquierdo
- Global posterior derecho

En las situaciones en las que se observó una diferencia en la cojera del animal se añadieron los nuevos vídeos a la aplicación. En aquellas en las que no se apreciaron diferencias, se utilizan los mismos vídeos utilizados para los movimientos naturales. Se llevó a cabo el mismo procedimiento con las anestesias diagnósticas y se grabaron los vídeos de las pruebas desestimándose posteriormente aquellos que resultaron negativos.

Tras la recogida de los vídeos del animal, se escanearon las placas radiográficas que se habían realizado del caso y fueran procedentes para el diagnóstico del mismo. Además, también se escanearon placas no patológicas de otros casos del HVUZ, almacenándose en el directorio común, y en las circunstancias en las que no es relevante radiografiar una zona, el resultado de la radiografía se suple con una de ellas. Una vez escaneadas las radiografías, se recortó la zona de interés y se creó un archivo con una resolución final de 314 por 368 píxeles. Los archivos resultantes se nombraron en función de la región y la proyección siguiendo la nomenclatura "[Región][Proyección].png". Las regiones y las proyecciones disponibles son:

Región 1: Casco

1 Latero-Medial del casco

2 DorsoProximal-Palmaro Distal (Tercera falange)

3 DorsoProximal-Palmaro Distal Oblicua 60º (Navicular)

4 ProximoPalmar-DistoPalmar Oblicua 60º (Skyline)

5 Dorso-Palmar en apoyo

Región 2: Cuartilla

1 Latero-Medial

2 Dorso-Palmar

3 DorsoMedial-Palmaro Lateral Oblicua 45º

4 DorsoLateral-Palmaro Medial Oblicua 45º

Región 3: Menudillo

1 Latero-Medial

2 Latero-Medial en flexión

3 Dorso Proximal-Palmaro Distal Oblicua 20º (Frontal del menudillo)

4 Dorso Medial-Palmaro Lateral Oblicua 45º

5 Dorso Lateral-Palmaro Medial Oblicua 45º

Región 4: Caña

1 Latero-Medial

2 Dorso-Palmar

3 Dorso Medial-Palmaro Lateral Oblicua 45º

4 Dorso Lateral-Palmaro Medial Oblicua 45º

Región 5: Carpo

1 Latero-Medial

2 Dorso-Palmar

3 Dorso Medial-Palmaro Lateral Oblicua 45º

4 Dorso Lateral-Palmaro Medial Oblicua 45º

5 Dorso Proximal-Dorso Distal Oblicua (Skyline 1)

6 Dorso Proximal-Dorso Distal Oblicua (Skyline 2)

7 Dorso Proximal-Dorso Distal Oblicua (Skyline 3)

Región 6: Encuentro

1 Latero-Medial

2 Dorso-Palmar

Región 7: Escápula

1 Medio-Lateral

En caso de ser representativo, se realizó un estudio ecográfico en el que se capturó la imagen del proceso patológico. En ese caso, se añadió la imagen al estudio ecográfico con un título que designara la zona explorada. La imagen se recortó para tener una resolución de 513 por 380 píxeles. En caso de no tener el estudio ecográfico realizado, se notifica adecuadamente al acceder a la sección.

5.3.7 **Prueba y verificación de la aplicación**

Una vez implementada la aplicación, se inspeccionó el código buscando errores y se verificó que todos los módulos funcionaban como era esperado. Posteriormente se realizó una prueba del software (*beta-testing*) con los alumnos internos de caballos del HVUZ.

Una vez finalizada la búsqueda de errores, se introdujo en el curso académico 2008-2009 como práctica seminario en una asignatura de grado optativa (Traumatología, ortopedia y podología) para la prueba con alumnos y se solicitó a los alumnos la evaluación de la aplicación así como su opinión sobre ella. La encuesta realizada a los alumnos era anónima y voluntaria, y constaba de las siguientes preguntas:

- Sexo: Mujer, Hombre
- Consideras globalmente la experiencia del simulador como algo: Muy útil, Útil, Poco útil, Nada útil
- ¿Crees que el simulador puede ayudar activamente en la formación de alumnos que no tengan ningún conocimiento en el diagnóstico de cojeras en caballos? Sí, No
- ¿Crees que el simulador puede ayudar activamente en la formación de profesionales con una base básica en el diagnóstico de cojeras en caballos? Sí, No
- ¿Crees que el simulador puede ayudar activamente en la formación de profesionales con una base avanzada en el diagnóstico de cojeras en caballos? Sí, No

- Como alumno, ¿cómo consideras que debería utilizarse el simulador? Solo y sin apoyos, Como un complemento al aprendizaje con animales, No debería utilizarse
- ¿Cuándo crees que resulta más útil el simulador? Antes de haber visto animales vivos o teoría al respecto, Antes de haber visto animales pero tras el estudio de la teoría, Después de haber visto tanto animales como teoría
- ¿Crees que tras el uso de esta herramienta tus conocimientos han mejorado, y que tienes más claros tus conceptos sobre este tema? Sí, No
- ¿Qué tipo de clínica te gustaría realizar cuando finalices tus estudios? Pequeños animales, Exóticos, Animales de abasto, Équidos, Mixto (Grandes y Pequeños animales)

El siguiente año se introdujo como práctica en la asignatura obligatoria Clínica Hospitalaria Veterinaria. Nuevamente se solicitó a los alumnos su valoración de la aplicación de forma anónima y voluntaria. La encuesta solicitada fue la siguiente:

- ¿Ha cubierto esta práctica sus expectativas? Sí, No
- Valore de 0 a 5, siendo 0 nada y 5 mucho, los conocimientos adquiridos durante la práctica
- Valore de 0 a 5 la implicación del docente en la práctica
- Respecto al grado de participación elija una opción: He sido un mero espectador, Ha habido pocas oportunidades de participar, He participado poco porque la especie de la práctica no es a la que voy a dedicarme, He participado activamente
- ¿Cree conveniente realizar más horas prácticas? Sí, sin duda esta especie tiene pocas horas prácticas durante la carrera; Sí, aunque no es mi intención dedicarme a esta especie; No, las horas dedicadas son suficientes
- Tras realizar la práctica, valore de manera crítica los conocimientos previos con los que la realizó: Eran prácticamente inexistentes, Eran insuficientes pero he podido seguir la práctica, Eran mayores de lo que pensaba, El nivel de los conocimientos requeridos estaba por debajo del nivel con el que fui a la práctica
- En este espacio resalte lo más significativo de la práctica (aspectos positivos o negativos)
- En este espacio puede realizar alguna recomendación que cree puede mejorar la práctica

5.4 Resultados

La aplicación finalizada puede encontrarse en la siguiente dirección:

URL: http://www.unizar.es/simuladores/

Este simulador se ha insertado en la docencia de grado para que los alumnos lo usen en primera instancia con un profesor especialista en la materia que sea capaz de guiarles y enseñarles los pasos que deben ir dando, así como en qué deben fijarse. Sin embargo, una vez explicado el uso de la aplicación con el primer caso, el resto del uso de la aplicación es autónomo con el apoyo del profesorado en el seminario tan solo para consultar dudas, y posteriormente con su uso en casa. Se ha cuantificado dentro de los créditos ECTS (European Credit Transfer System) de la asignatura el tiempo de trabajo no presencial utilizado para la revisión de todos los casos.

Derivados de las distintas fases de diseño, desarrollo e implementación de esta herramienta, se han obtenido una serie de resultados que se detallan a continuación:

5.4.1 Capa de negocio

Tras la primera fase de análisis y diseño, se elaboró un DFD que permite ver las opciones que tendrá disponibles el usuario, así como avanzar en futuras fases de diseño determinando los módulos necesarios, las interfaces de conexión entre ellos y la estructura necesaria para la base de datos (Figura 5.1).

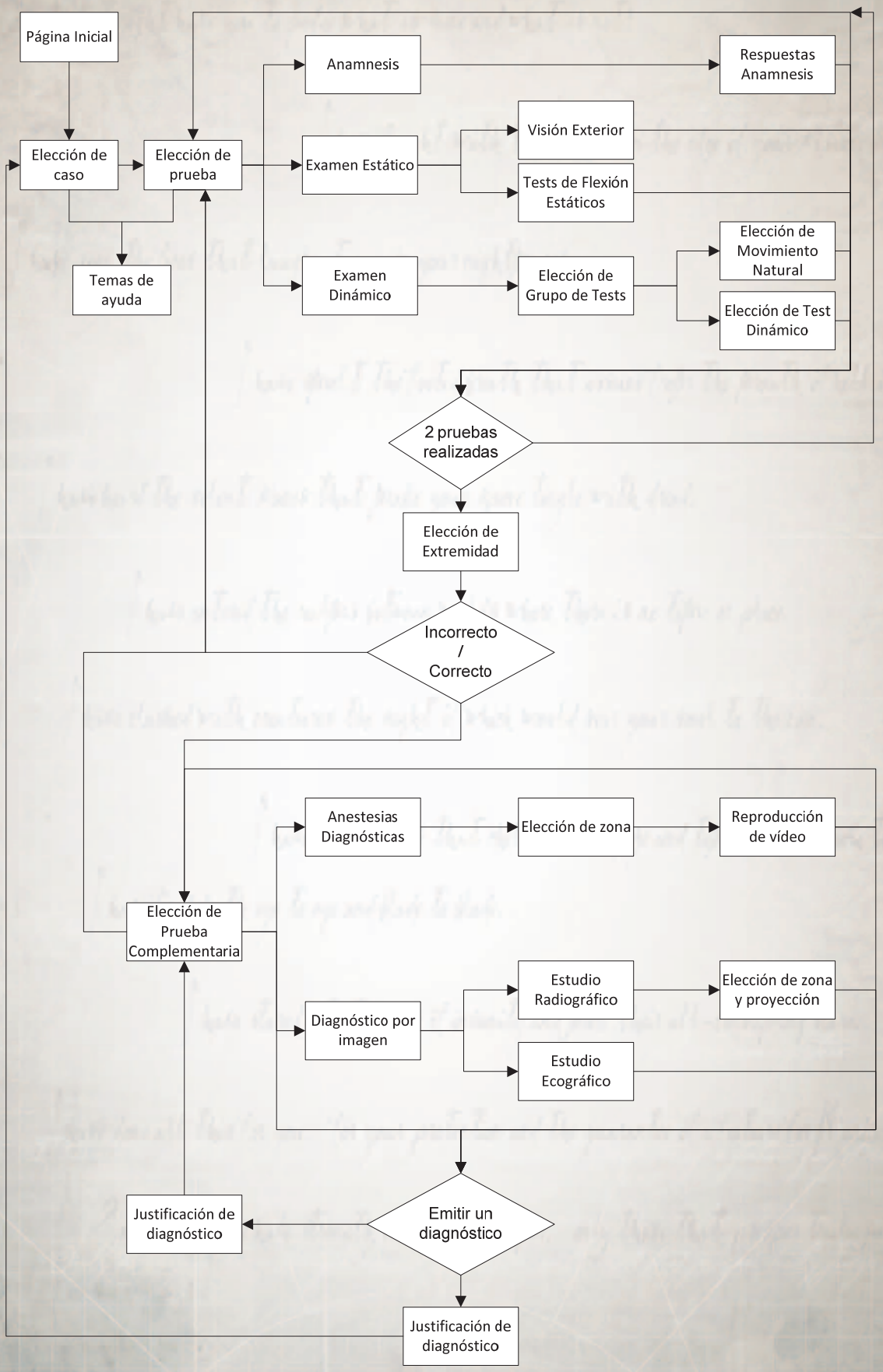


Figura 5.1: DFD del Simulador de Diagnóstico de Cojeras en Caballos

5.4.2 Capa de datos

En la fase de diseño de la capa de datos se generaron los Diagramas de Entidad-Relación (DER) en los cuales se ejemplifica de forma gráfica la relación entre los diferentes campos de la base de datos (Figura 5.2).

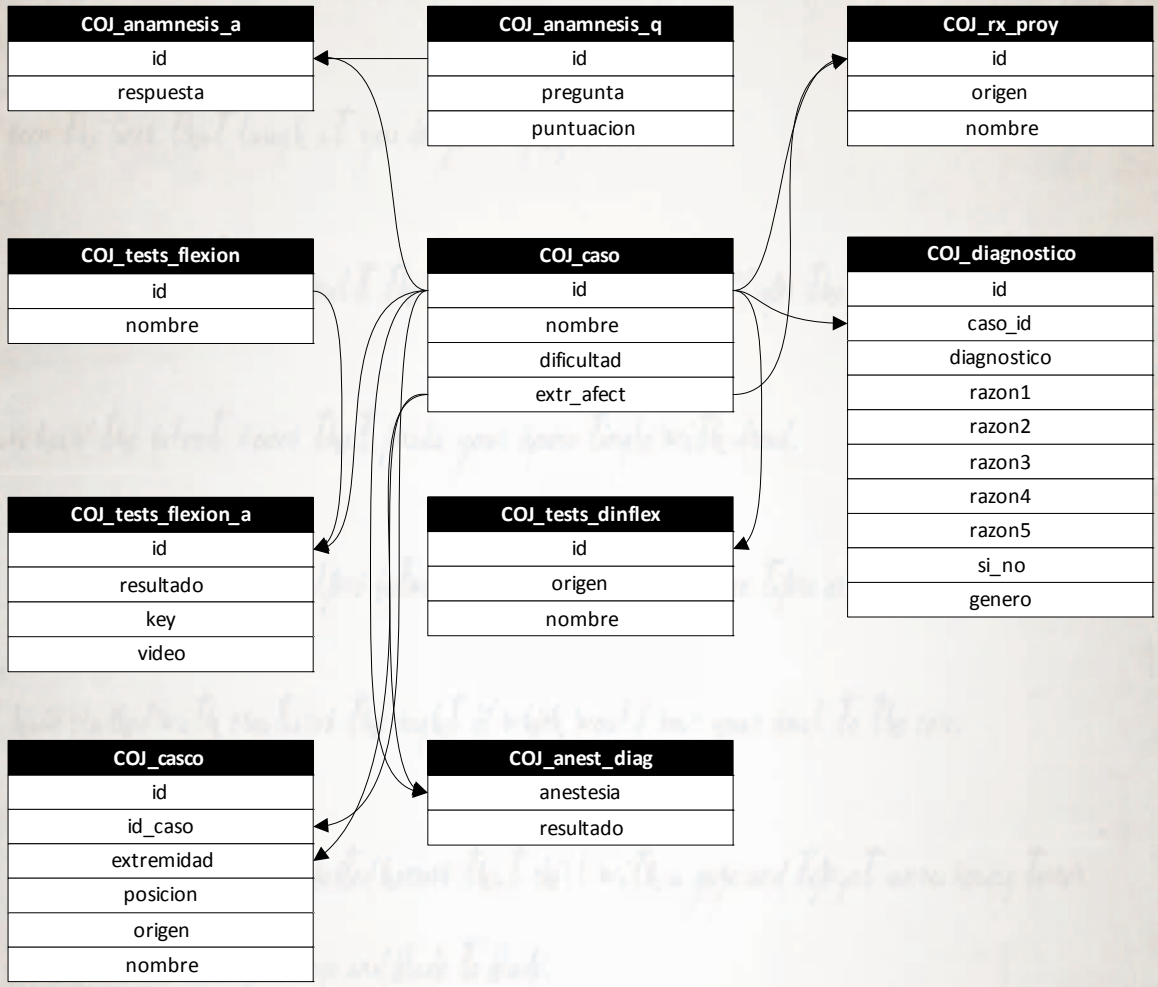


Figura 5.2: DER del Simulador de Diagnóstico de Cojeras en Caballos

5.4.3 **Capa GUI**

Por último y con la capa de negocio y la capa de datos diseñadas, se procede al diseño, desarrollo e implementación de la GUI cuyo resultado se detalla a continuación:

Figura 5.3: Pantalla de presentación del Simulador de Diagnóstico de Cojeras en Caballos

El usuario accede a la pantalla de presentación desde la cual accede a la pantalla de selección de casos (Figura 5.3).

Figura 5.4: Selección de caso

En la pantalla de selección de casos el sistema muestra cinco casos posibles para resolver graduados en función de la dificultad del caso (Figura 5.4). El usuario debe escoger uno cualquiera de ellos. En esta página además se reinicia el operador de pruebas realizadas. De este modo si el usuario realiza pruebas en un animal y antes de diagnosticar la extremidad afectada cambiara de caso no tendría la posibilidad de avanzar hasta el examen complementario.

En esta página además el usuario tendrá disponibles los temas de ayuda que podrá descargar y consultar. Estos corresponden a Recuerdo Anatómico, Método de diagnóstico de cojeras, Anatomía Radiológica, Anatomía Ecográfica, Anestesias Diagnósticas y Ficha de Cojeras.

Figura 5.5: Selección de Prueba Inicial

Una vez accede al examen inicial, el usuario mantendrá la posibilidad de acceder a los temas de ayuda y podrá elegir entre las tres pruebas de dicho examen inicial: Anamnesis, Examen estático y Examen dinámico (Figura 5.5).

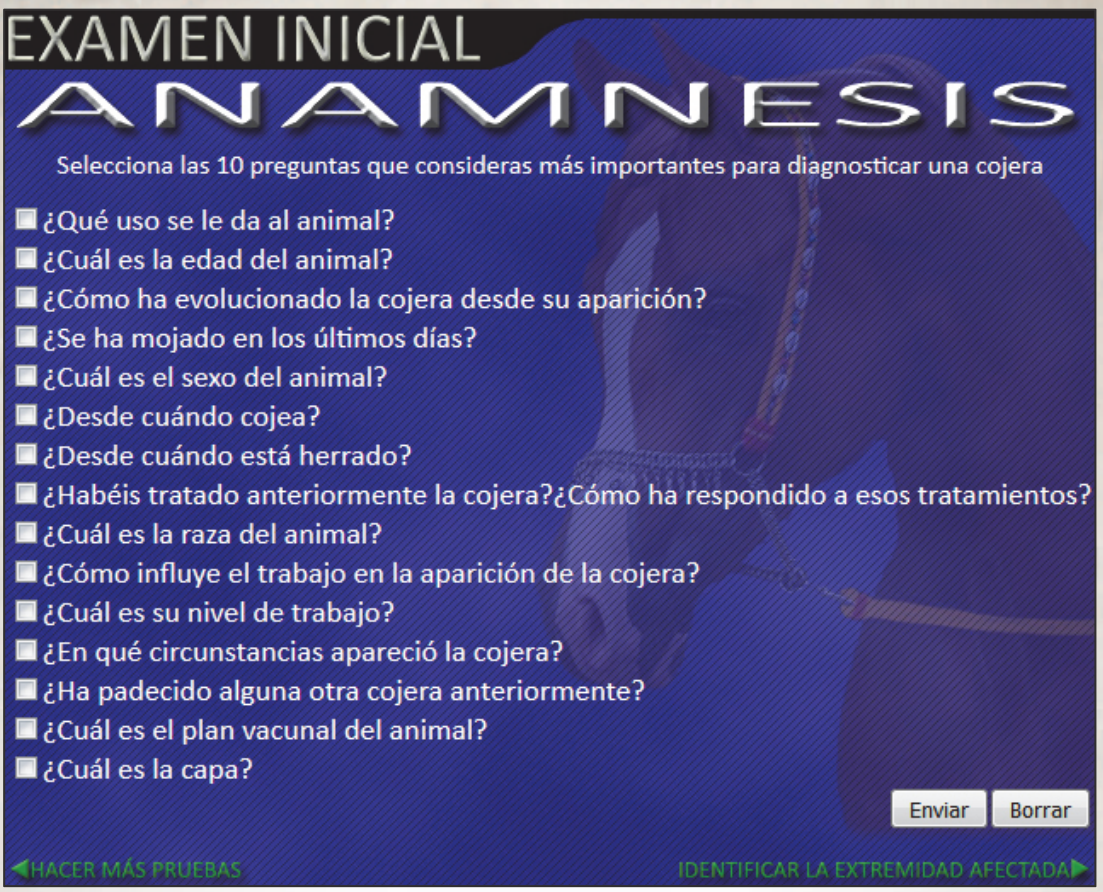


Figura 5.6: Preguntas de la anamnesis

El usuario podrá seleccionar cuantas preguntas quiera de las disponibles. Las preguntas presentadas se ordenan aleatoriamente para evitar que el usuario recuerde el orden de las mismas y cuáles son relevantes y cuáles no (Figura 5.6).

Una vez enviadas las preguntas al sistema este devolverá las respuestas rescatadas de la base de datos. Las respuestas aparecen marcadas en verde o rojo en función de si son o no pertinentes para el diagnóstico de las cojeras (Figura 5.7).

Del total de 15 preguntas se presentan 10 preguntas pertinentes y 5 sin importancia.

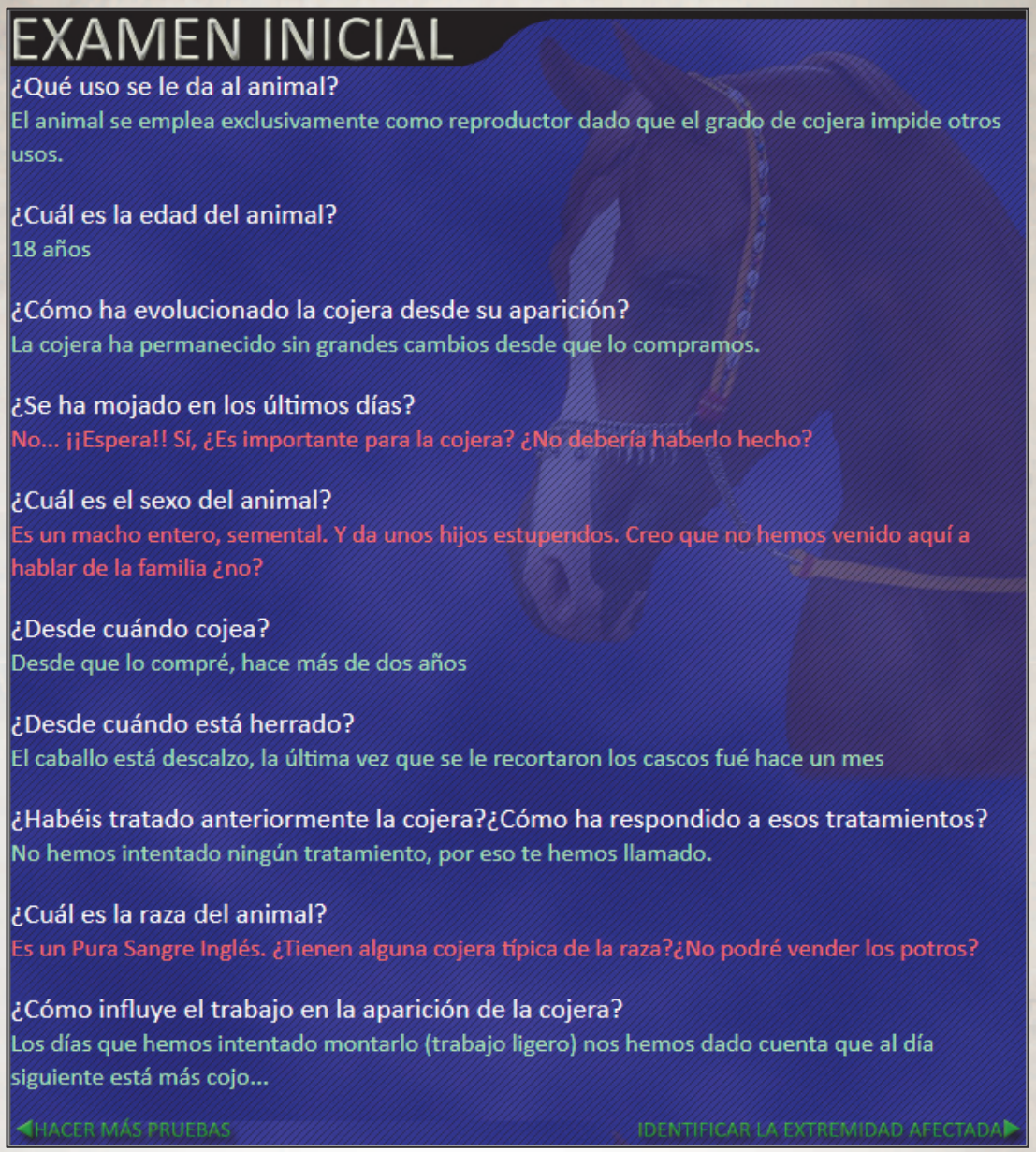


Figura 5.7: Respuestas de todas las preguntas de la anamnesis en uno de los casos

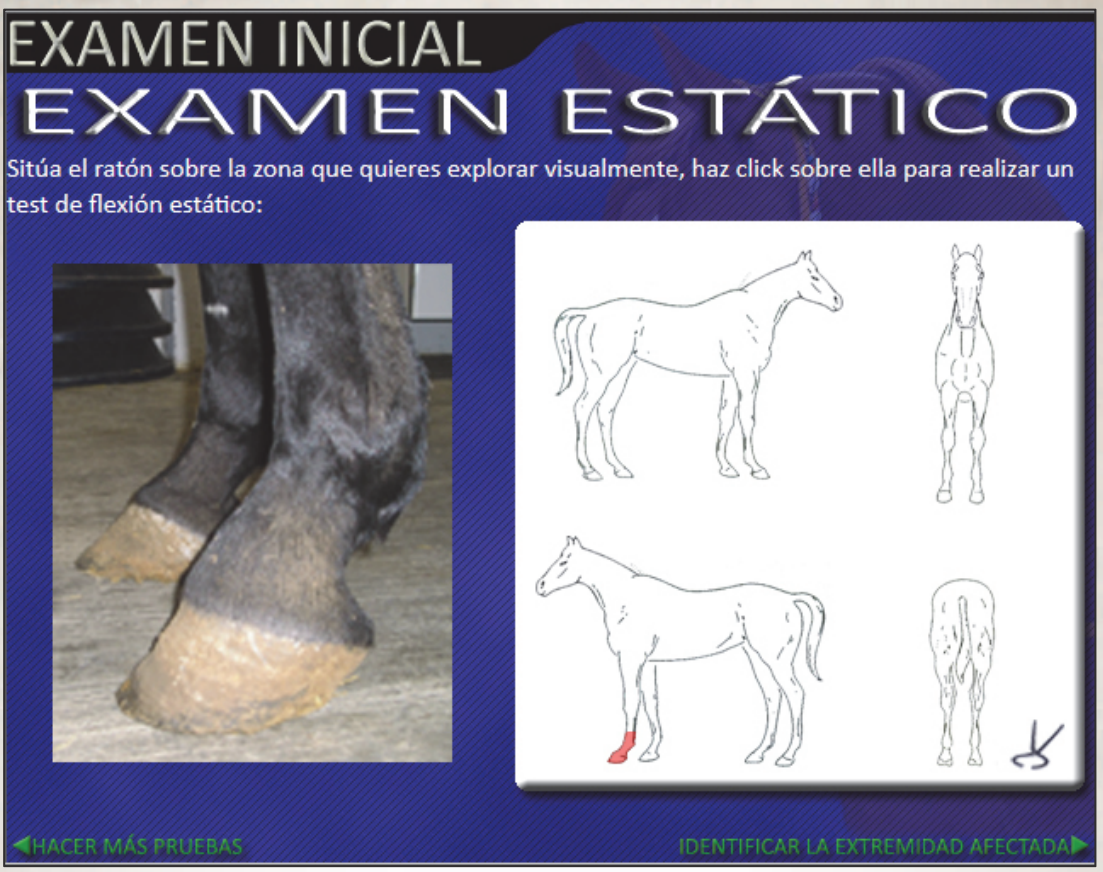


Figura 5.8: Examen estático

Para poder examinar al animal se presenta una pantalla con cuatro proyecciones de un caballo, izquierda, derecha, frontal y trasera.

Para explorar el animal, el usuario debe situar el ratón en la zona que quiere revisar. En ese momento, esta se sombrea y en su lateral aparece una imagen en detalle del área. Moviendo el ratón por las siluetas, la aplicación va mostrando las distintas imágenes disponibles (Figura 5.8).

Figura 5.9: Ejemplo de Test de Flexión negativo

Figura 5.10: Ejemplo de Test de Flexión positivo

Para realizar un test de flexión el usuario debe hacer clic sobre la articulación en la cual desea realizar la prueba. En ese momento, si el resultado es negativo se mostrará una imagen correspondiente a dicha prueba realizada de forma correcta y un texto diciendo que "No se aprecia dolor ni cambios en la amplitud del movimiento articular" en blanco (Figura 5.9).

En caso de ser positivo el resultado de la prueba, aparecerá igualmente la imagen de la prueba realizada correctamente junto a un texto en rojo mientras se escucha un relincho. El texto dependerá del hallazgo de la prueba y estará introducido en la base de datos (Figura 5.10).

Las respuestas disponibles son:

- Flexión dolorosa y anquilosis de las articulaciones interfalangianas.
- Flexión dolorosa sin cambios en la amplitud del movimiento articular.
- Se aprecia dolor y disminución en la amplitud de la flexión interfalangiana.
- Se aprecia un ligero dolor.
- Se observa dolor a la flexión metacarpofalángica.

Figura 5.11: Test de pinza de casco negativo

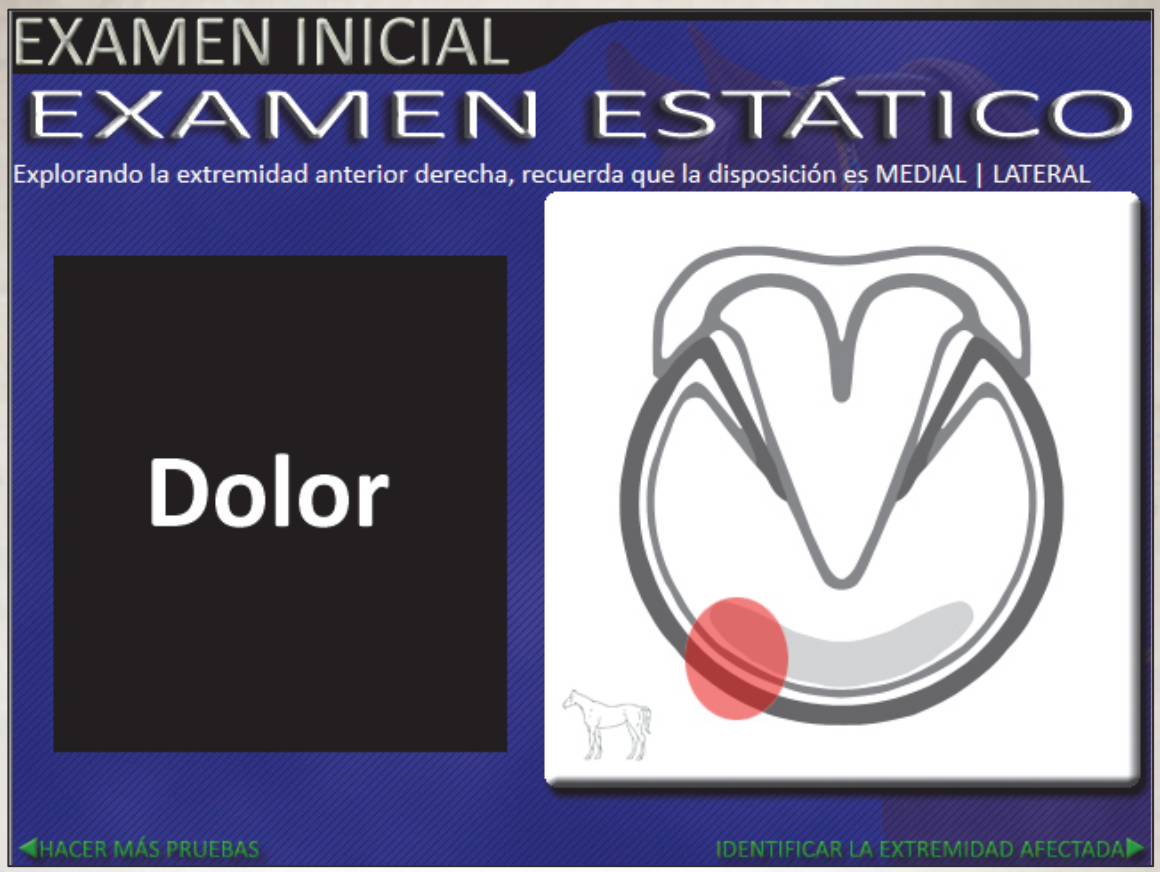


Figura 5.12: Test de pinza de casco positivo 1

Figura 5.13: Test de pinza de casco positivo 2

Además de las pruebas de flexión, el usuario también puede realizar la prueba de la pinza en el casco. Para realizarla, se debe hacer clic sobre la silueta de pinza del casco situada abajo a la derecha en las siluetas del caballo tras lo cual se permite seleccionar en qué extremidad realizar la prueba.

En esta nueva pantalla se presenta una silueta de la cara palmar de un casco. Pasando el ratón por encima el sistema devuelve la información de dolor de once zonas distintas.

El dolor está graduado en "No se observan signos de dolor", "Dolor" y "Mucho Dolor" (Figura 5.11, Figura 5.12, Figura 5.13).

Esta información se encuentra almacenada nuevamente en la base de datos.

Figura 5.14: Selección de prueba en el Examen Dinámico

El sistema permite la realización de dos tipos de pruebas dentro del examen dinámico: movimientos naturales y test de flexión dinámicos (Figura 5.14).

Figura 5.15: Selección de movimiento natural

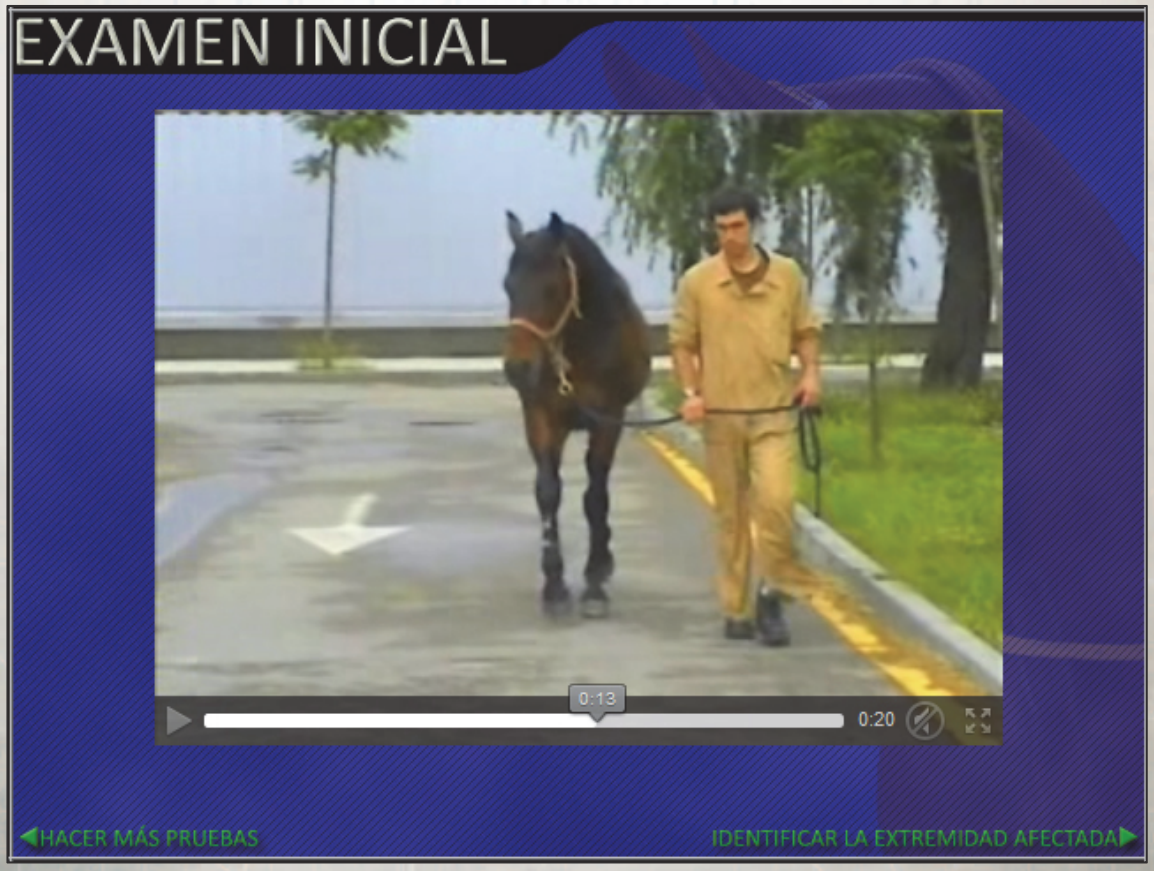


Figura 5.16: Visualización de vídeo de movimiento natural

En este caso la aplicación permitirá elegir entre las siguientes opciones:

- Paso
- Paso, vista lateral
- Paso, prueba del ocho
- Trote en línea recta
- Trote en círculo mano izquierda, suelo duro
- Trote en círculo mano derecha, suelo duro

Una vez elegida una de ellas, se visualizará un vídeo del animal realizando dicha acción en la que usuario tendrá que observar sin ayuda externa los movimientos del animal. En caso de estar contraindicada la realización de la prueba aparecerá un mensaje indicando que está contraindicado trotar un caballo con un grado de cojera tan grave (Figura 5.16).

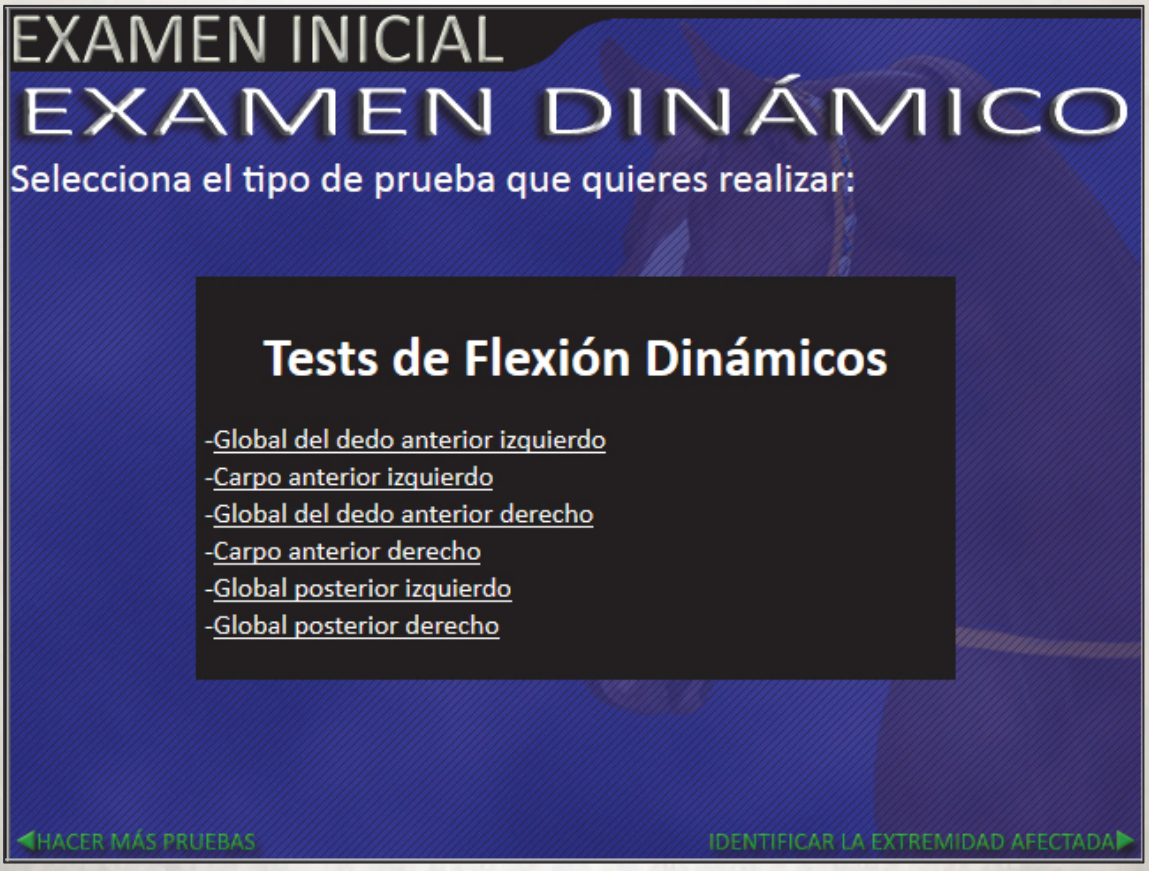


Figura 5.17: Selección de Test de Flexión Dinámico

En el caso de los test de flexión dinámicos la opción es igual a los movimientos naturales. La aplicación permite elegir entre las siguientes pruebas:

- Global del dedo anterior izquierdo
- Carpo anterior izquierdo
- Global del dedo anterior derecho

- Carpo anterior derecho
- Global posterior izquierdo
- Global posterior derecho

Tras elegir la prueba deseada, el simulador mostrará el resultado en vídeo con el animal moviéndose en línea recta. En caso de estar contraindicada la realización de la prueba aparecerá un mensaje indicando que está contraindicado trotar un caballo con un grado de cojera tan grave (Figura 5.17).

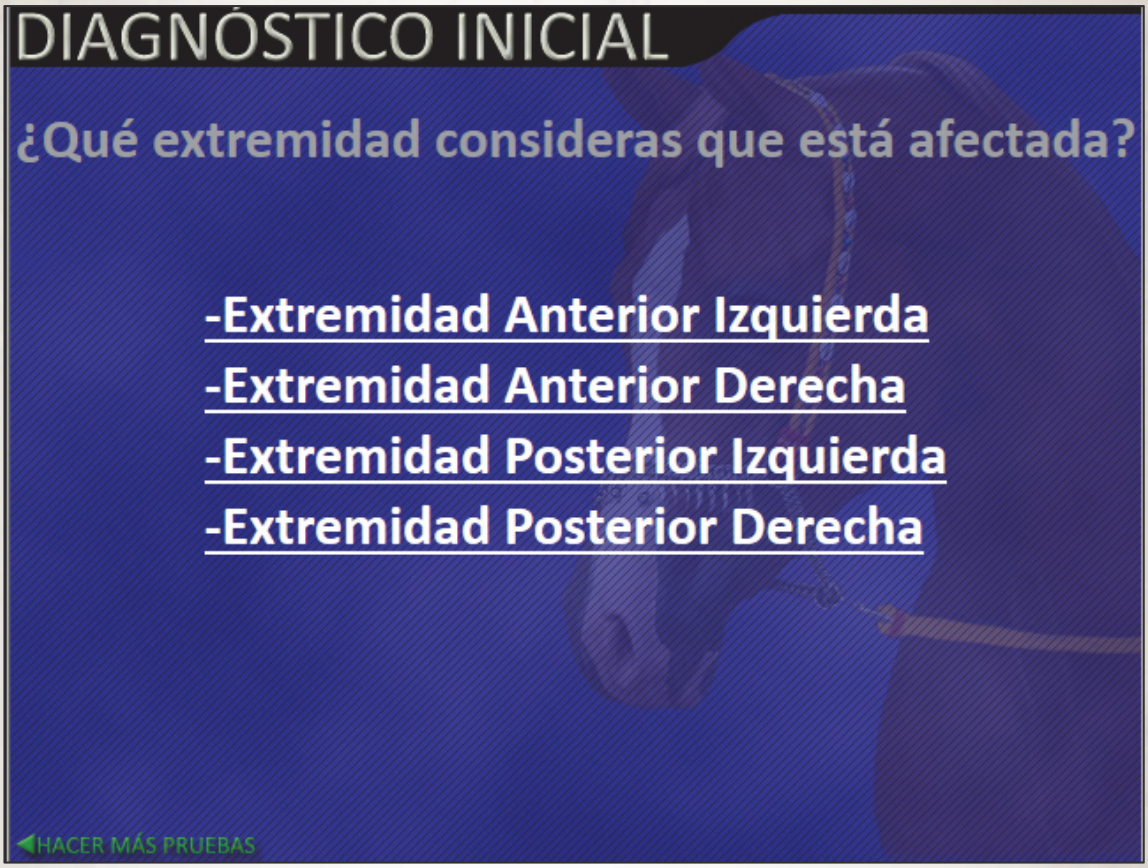


Figura 5.18: Identificación de extremidad afectada

La pantalla de selección de la extremidad no se encuentra disponible desde el primer momento. Si el usuario intenta realizar el diagnóstico antes de haber realizado al menos dos pruebas recibe el mensaje "No tienes suficiente información para continuar" (Figura 5.19).

Figura 5.19: Error por falta de pruebas

En caso de haber realizado al menos dos pruebas, la aplicación permitirá la selección de una extremidad, a través de una pantalla que permite elegir una de las cuatro extremidades del animal (Figura 5.18).

Figura 5.20: Error por identificación de extremidad afectada incorrecta

Figura 5.21: Identificación de extremidad afectada correcta

En caso de error la aplicación mostrará que es incorrecto y emplazará al usuario a volver a intentar el diagnóstico (Figura 5.20) y ante un acierto, el sistema corroborará el acierto y conminará al usuario a continuar al examen complementario (Figura 5.21).

Figura 5.22: Selección de prueba complementaria

En el examen complementario la aplicación permite elegir la realización de anestesias diagnósticas o de pruebas de diagnóstico por imagen (Figura 5.22).

En ninguno de los dos casos se permite la elección de la extremidad sobre la que se realiza la prueba ya que, al haberse identificado la extremidad afectada, solo se podrá realizar la prueba sobre la misma.

Al seleccionar “Anestesias diagnósticas”, el usuario se encuentra ante una página que le solicita la región en la que desea realizar la prueba (Figura 5.23). Las regiones disponibles son talones, cuartilla, menudillo, caña proximal, carpo, codo y encuentro. Tras enviar la región, la aplicación le solicitará qué tipo de anestesia desea realizar. Los tipos disponibles son intrasinovial o perineural.

Una vez resuelta la región a anestesiar, el sistema ofrecerá las anestesias definitivas disponibles según el binomio región-tipo escogido (Figura 5.24).

Una vez seleccionada la zona, la aplicación mostrará un vídeo del animal siendo trotado en línea recta (Figura 5.28). En esta pantalla no se mostrará ninguna referencia al diagnóstico correcto, al igual que durante la observación de los movimientos naturales en el Examen Inicial.

Es posible que debido a la patología del animal no sea físicamente posible la realización de la anestesia. En ese caso se mostrará el mensaje "En este caballo no fue posible realizar la punción" (Figura 5.25).

También es posible que debido a los signos aparentes, la realización de una anestesia no esté indicada o, directamente, esté contraindicada. En ese caso se avisa al usuario con los siguientes mensajes:

- Anestesia contraindicada por posibilidad de fractura (Cojera de aparición aguda y muy evidente) (Figura 5.26)
- No hay justificación clínica para realizar esta anestesia diagnóstica
- Hay signos clínicos lo suficientemente evidentes como para hacer innecesaria la realización de una anestesia diagnóstica (Figura 5.27)

Esta información está codificada en la base de datos para cada anestesia posible.

Figura 5.23: Inicio de selección de zona a anestesiar

Figura 5.24: Selección completa de zona a anestesiar

Figura 5.25: Error en anestesia diagnóstica por imposibilidad manifiesta

Figura 5.26: Error de anestesia diagnóstica por contraindicación clínica

Figura 5.27: Error de anestesia diagnóstica por falta de indicación clínica

Figura 5.28: Visualización de vídeo tras anestesia diagnóstica

Figura 5.29: Selección de prueba de diagnóstico por imagen

En el menú de "Diagnóstico por imagen" se permite al usuario elegir si quiere realizar una placa radiográfica o un estudio ecográfico (Figura 5.29).

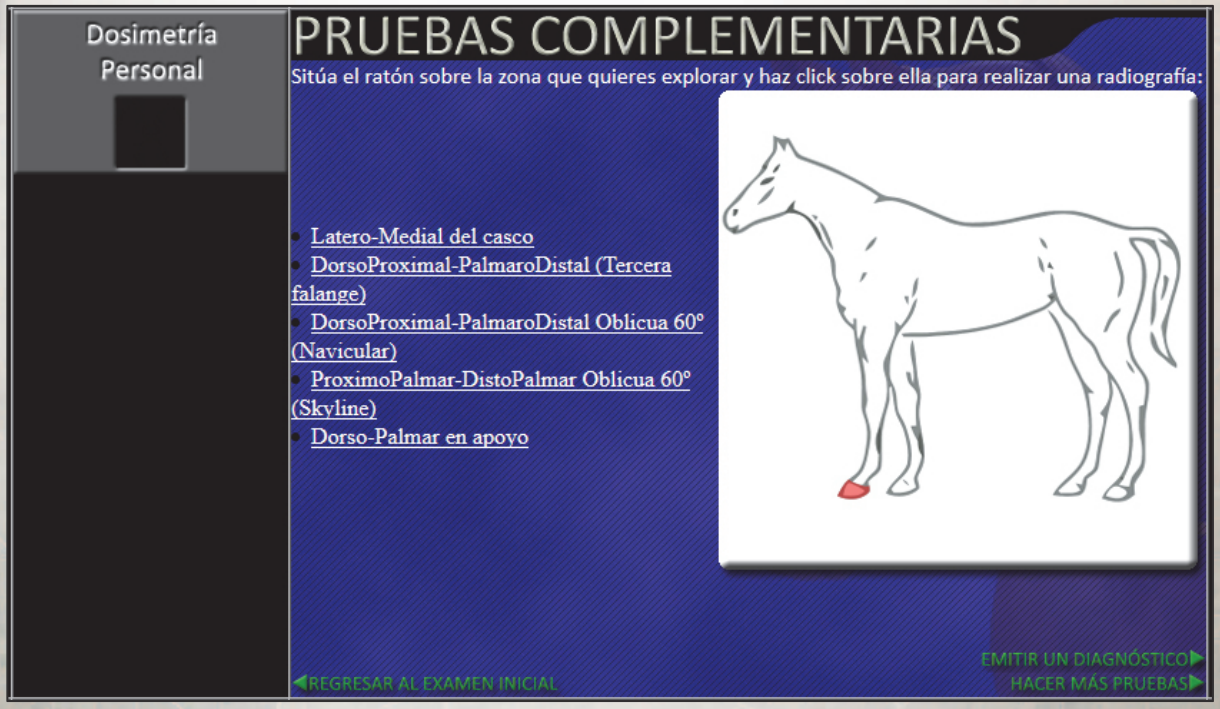


Figura 5.30: Ejemplo de pantalla de selección de proyección de radiografía

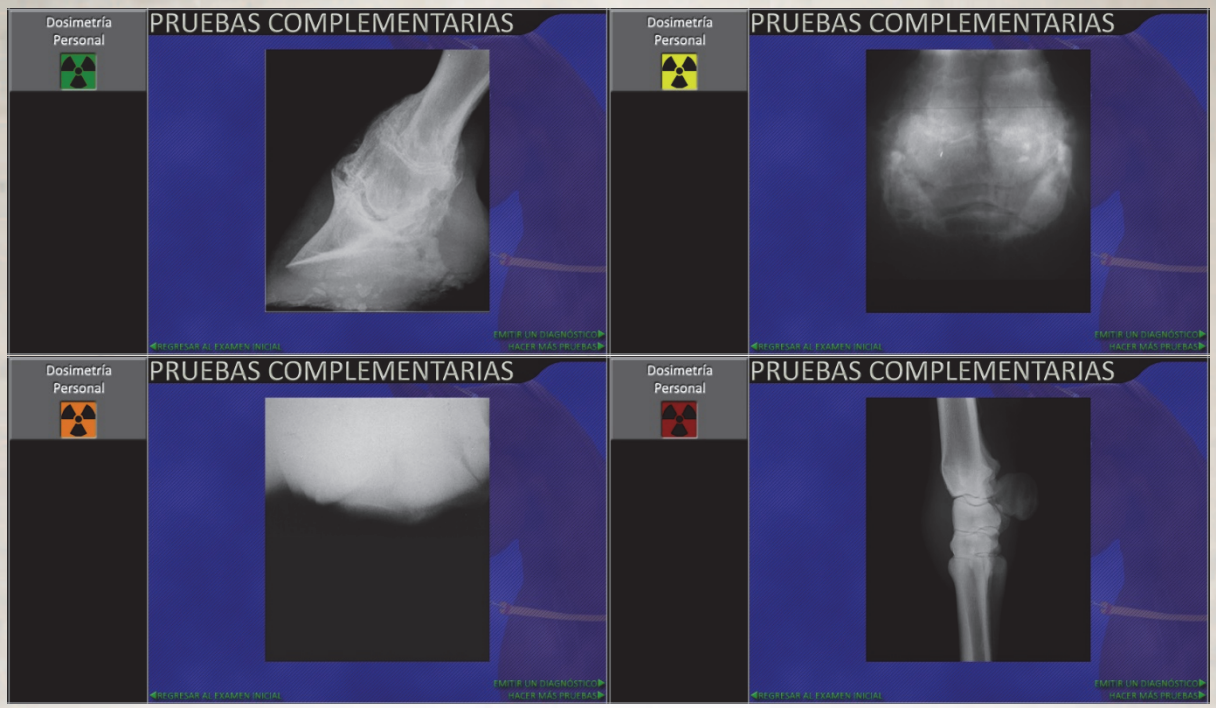


Figura 5.31: Ejemplo de varias proyecciones radiológicas y de evolución del dosímetro virtual

La pantalla de estudio radiográfico aprovecha la resolución mayor y más habitual de las pantallas más modernas (manteniéndose en unos muy comedidos 800 por 600 píxeles).

En la zona derecha de la pantalla, se muestra una silueta de un caballo que permite seleccionar la zona de la que se quiere realizar la radiografía. La silueta permite seleccionar solo la extremidad adecuada. Una vez el usuario hace clic sobre la zona deseada muestra las proyecciones disponibles para esa zona (Figura 5.30).

Cuando el usuario hace clic sobre una proyección para ver la radiografía correspondiente a esa zona, el sistema mostrará una placa radiográfica que puede o no mostrar alguna patología, en función de si el animal la mostraba o no.

La zona del margen izquierdo se utiliza para situar un dosímetro digital. Este dosímetro que en principio sale en color negro tiene por misión indicar al usuario si está realizando el número razonable de radiografías o si, por el contrario, se está excediendo (Figura 5.31).

El dosímetro adquirirá un tono verde con las primeras dos radiografías (un número suficiente de placas, ya que para este momento el usuario debería saber cuál es la articulación problema), amarillo entre la tercera y la sexta, naranja entre la séptima y la novena, y rojo a partir de la décima.

En el caso del estudio ecográfico la aplicación tan solo mostrará una si es pertinente realizarla.

Si era pertinente, se mostrará la imagen de la patología con una leyenda indicando el lugar en que se tomó la imagen aunque sin interpretación de la misma (Figura 5.32).

En caso contrario mostrará una advertencia de "Estudio ecográfico no realizado" (Figura 5.33).

Figura 5.32: Ejemplo de exploración ecográfica positiva

Figura 5.33: Ejemplo de exploración ecográfica negativa

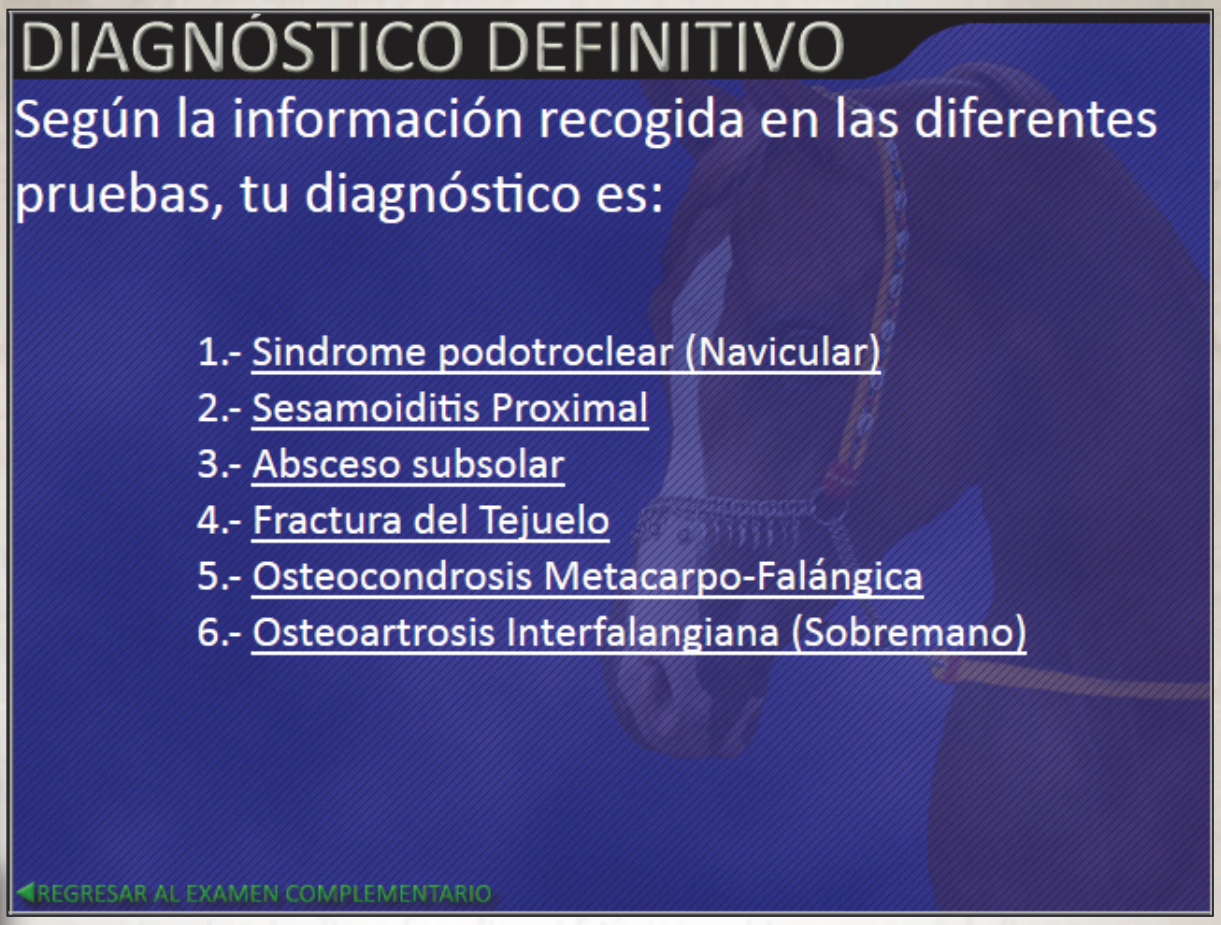


Figura 5.34: Diagnóstico definitivo

Finalmente, una vez que el usuario decide emitir un diagnóstico y pulsa sobre esta opción, el sistema le ofrece seis opciones que se ordenan aleatoriamente para evitar la memorización de la posición de la respuesta correcta (Figura 5.34). Cuando el usuario haga clic sobre una de las opciones la aplicación corregirá la respuesta.

Si la opción es errónea, se mostrará una pantalla en negro con la leyenda "Incorrecto" y dos motivos por los cuales no puede ser el diagnóstico realizado (Figura 5.35).

En ese momento la aplicación dará la opción de "Hacer más pruebas" o "Emitir un diagnóstico".

En caso de acertar, se mostrará una pantalla verde y los dos principales motivos por los que se identifica el proceso patológico (Figura 5.36).

En ese momento la aplicación permite volver a la pantalla inicial y "Escoger otro caso".

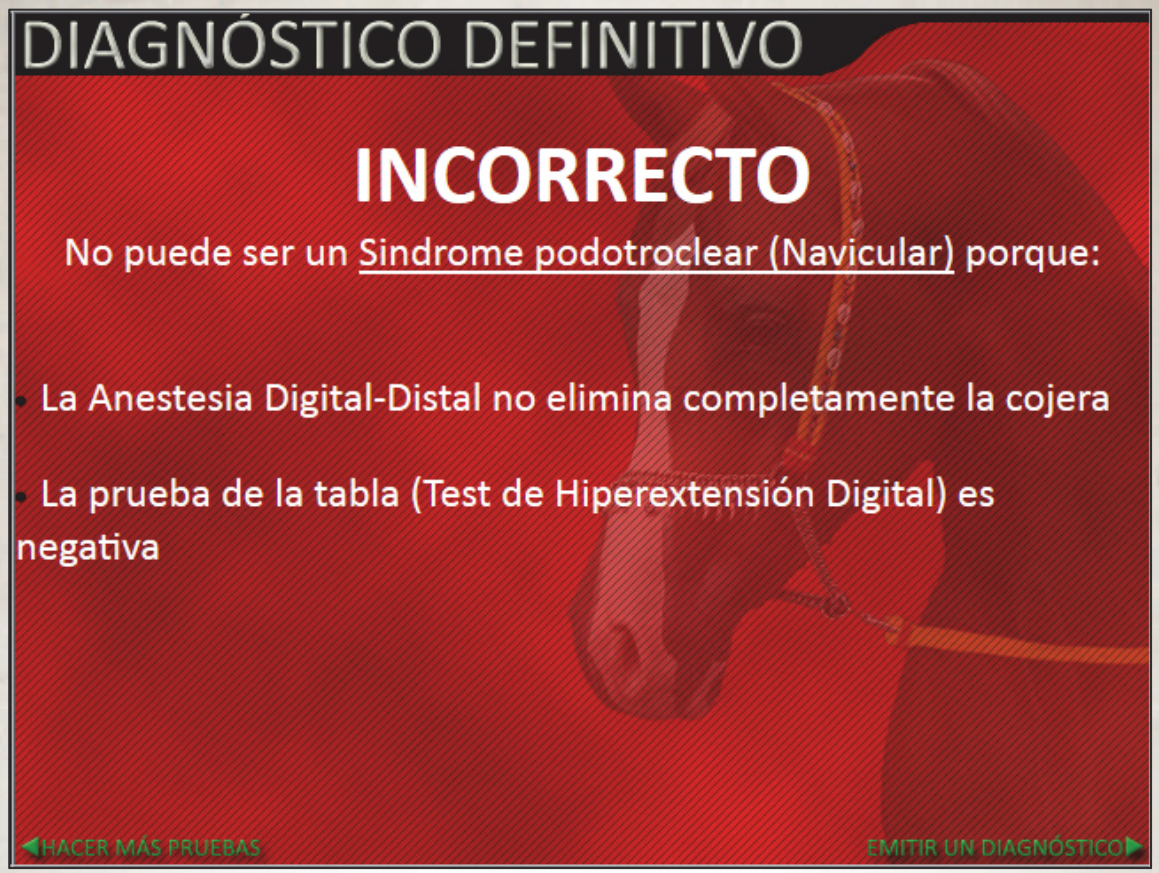


Figura 5.35: Diagnóstico incorrecto

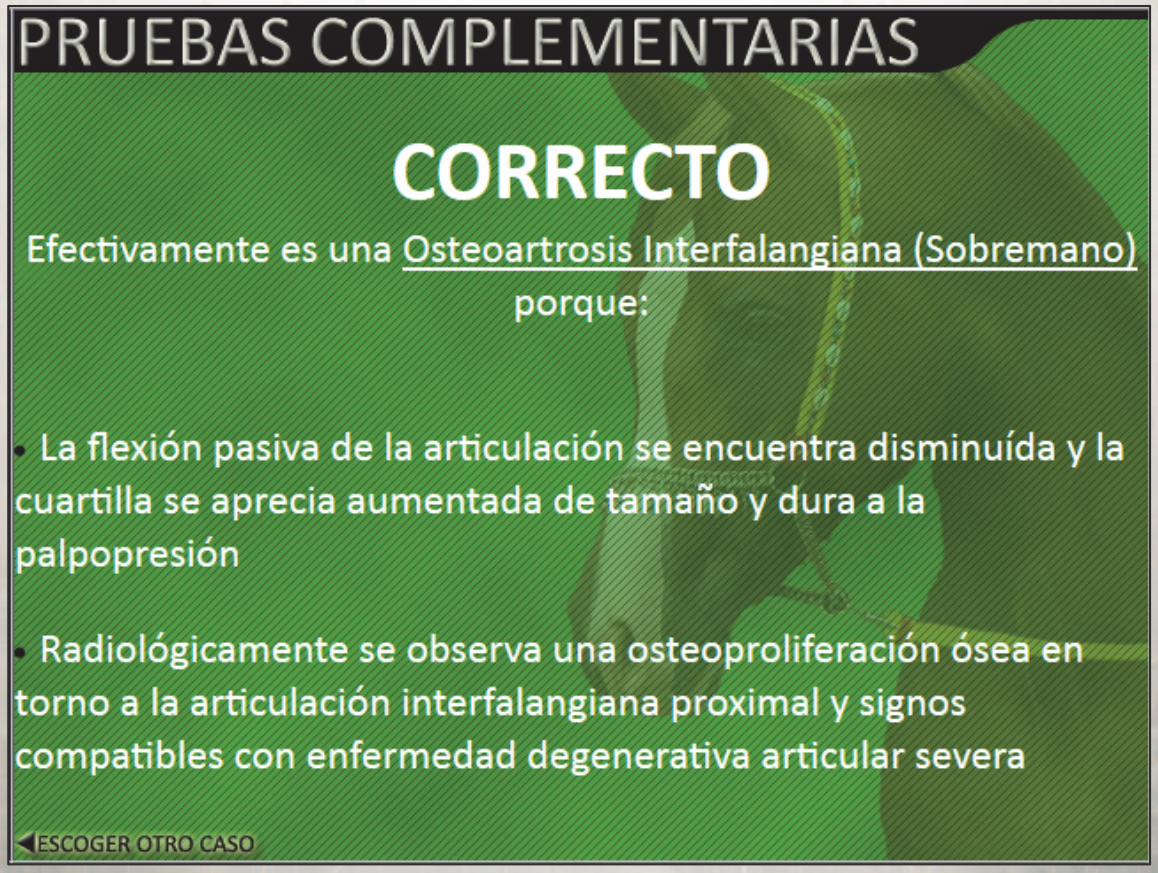


Figura 5.36: Diagnóstico correcto

5.4.4 Evaluación del software con alumnos

Cuando se presentó el simulador a los alumnos se realizaron dos encuestas: en primer lugar a los alumnos de la asignatura optativa "Traumatología, ortopedia y podología", y el año siguiente a los alumnos de "Clínica Hospitalaria Veterinaria". Los resultados fueron los siguientes:

Traumatología, ortopedia y podología

Respondieron 36 de 40 alumnos. Los resultados fueron: un 83,33% de los alumnos que respondieron a la encuesta consideraron que la aplicación podía ayudar en la formación de licenciatura y todos ellos la consideraron útil o muy útil y la totalidad de los alumnos encuestados consideraron que sus conocimientos habían mejorado tras el uso de la herramienta. Cuando se les preguntó en qué momento consideraban que debía integrarse la aplicación ninguno consideró utilizarla antes de haber visto la teoría, un 44,44% opinó que entre la teoría y las prácticas y un 55,56% opinó que tras haber visto casos en prácticas sería lo adecuado. De los 36 alumnos que respondieron a la encuesta, solo un 5,56% querían dedicarse en un futuro a los équidos, el resto se hallaban repartidos entre pequeños animales (63,89%), exóticos (16,67%), mixto (8,33%) y animales de abasto (5,56%). El resultado completo de la encuesta está disponible en el anexo 10.1.

Clínica Hospitalaria Veterinaria

El siguiente año se cambió el uso del simulador a la asignatura "Clínica Hospitalaria" de quinto curso. Respondieron a la encuesta un total de 75 alumnos de los 120 matriculados (62,5%). En este caso se trata de una asignatura de carácter obligatorio. Un 97,33% consideró que la práctica cubría sus expectativas y un 57,33% que cuando llegaron a la práctica a pesar de que sus conocimientos de base eran insuficientes al inicio de la práctica, habían sido capaces de seguirla. Un 70,66% pensaba que el número de horas prácticas era insuficiente y debía ser aumentado. Valorando la práctica de 1 a 5, la nota media otorgada por los alumnos ascendía a un 4,09.

En el apartado en el que se solicitaba mediante texto libre que se resaltara lo más significativo de la práctica 57 de las opiniones eran positivas y tan solo 6 negativas, el resto o no mencionaban el simulador o hablaban del plan de estudios pero no directamente del uso del simulador. Mención especial merece la opinión de un alumno en la cual comentaba que no creía en las prácticas con ordenadores en esta ni en ninguna asignatura, pero que le parecía que el programa "no estaba mal". El resultado completo de la encuesta está disponible en el anexo 10.2.

5.5 Análisis de debilidades del sistema

Hay varios aspectos que deberían mejorarse en futuras versiones del software, ya que son debilidades del sistema derivadas de la época en la que fue programado y de los conocimientos del programador en aquella época. Aparte de estos factores, también hay aspectos docentes que con el uso han aflorado y deberían ser igualmente revisados.

5.5.1 Aspectos técnicos

En primer lugar, la aplicación se basa en la capacidad de percepción de detalles del usuario, y los sistemas actuales permitirían transmitir el contenido multimedia con un detalle superior. En 2006 cuando se empezó a realizar, solo un 38% de los hogares de España tenía conexión a internet que se reducía a un 28,5% si se medían los que disponían de una conexión de banda ancha (89). Esto implicaba que había que ser muy conservador en cuanto a los tamaños de las imágenes y los vídeos a transmitir. Además, debemos tener en cuenta que en 2006, un 26% de los visitantes de W3Schools tenía una resolución de pantalla igual a 800 por 600 píxeles o inferior, siendo esta una página de desarrolladores de páginas web y por lo tanto con una afluencia de usuarios avanzados con unos equipos superiores a la media (90). Hoy día, esa tendencia ha cambiado, en 2014 el 74,4% de los hogares disponía de conexión a internet, y el 73% disponía de conexión de banda ancha (89). Además la resolución de los monitores también ha cambiado y el 81,7% disponía de una resolución de 1366 por 768 píxeles (90). Si miramos el informe sobre acceso a internet de Akamai vemos que la velocidad media de conexión a internet en España ha crecido de 2354 Kbps en el tercer trimestre de 2007 a 8940 Kbps en el primero de 2015. Si nos fijamos en las velocidades pico promedio, han aumentado de 5216 Kbps a 44518 Kbps en el mismo periodo (91). También ha cambiado el uso de los navegadores: si bien en 2006 el 66% de las visitas se realizaban con Microsoft Internet Explorer, en 2015 este porcentaje ha bajado hasta el 6,5% liderando el ranking Google Chrome con un 63,3% de las visitas (90). Todos estos datos apuntan a favor de un rediseño del software para utilizar un soporte multimedia que permita apreciar con mayor detalle las posibles variaciones en las extremidades del caballo y la visualización de los vídeos en alta definición y a pantalla completa, aprovechando así la mayor capacidad de la infraestructura y el aumento de la resolución de las pantallas. Además, la proliferación de los servicios de *streaming* de vídeo como youtube, netflix, vimeo, etc. ha llevado a la industria a la reciente creación de la *Alliance for Open Media* cuya finalidad es la creación de nuevos *codecs*, tecnologías y formatos audiovisuales libres, adaptados a las necesidades de la web (92). Es de suponer que estas nuevas tecnologías conseguirán una mayor calidad de transmisión con un menor consumo de ancho de banda, con lo que la transmisión de vídeos en alta definición debería ser en el futuro incluso más sencilla de lo que lo es en la actualidad.

También se debe añadir que desde que se desarrolló el simulador se han producido cambios de hondo calado en el paradigma de la programación web.

El estándar HTML4 (sobre el que se construyó el simulador) se publicó en 1999. Inmediatamente se comenzó a trabajar en la siguiente versión, llamada HTML5, cuya consolidación requirió 15 años: en 2011 se publicó el último borrador, en 2012 la “recomendación candidata” y en 2014 la “recomendación definitiva” (aunque se espera para el año 2016 la publicación de la versión HTML5.1) (93). Durante ese periodo los distintos navegadores fueron incorporando, cada uno a su ritmo, las nuevas funcionalidades que se iban proponiendo, muchas de las cuales no estaban disponibles en el momento del desarrollo de la aplicación. Aunque hay algunas que ya se han introducido (por ejemplo, la etiqueta <VIDEO>, que Mozilla Firefox incorporó en 2009) no se

ha revisado el código todo lo que se debería, resultando en una estructura basada en tablas y no en objetos, rígida y totalmente desfasada. También habría que hacer mención al nacimiento de AJAX en 2005. Esta técnica (que el W3C estandarizó en abril de 2006 mediante la especificación del objeto XMLHttpRequest) permite enviar solicitudes de forma asíncrona al servidor cargando solo partes de la página y manteniendo el resto. Eso permite, entre otras cosas, crear una capa GUI que responda a los deseos del usuario de forma más natural (cargando vídeos e imágenes de placas radiográficas sin tener que pulsar botones y enviar formularios) y un mayor aprovechamiento del ancho de banda (por ejemplo solicitando al servidor únicamente las respuestas de la anamnesis cuando el usuario hace clic sobre la pregunta, sin necesidad de refrescar toda la información en pantalla).

Además de esto, debería ocultarse de manera más efectiva el origen de los materiales multimedia, porque en su configuración actual puede dar pistas al usuario sobre el caso a resolver. Mirando el código fuente de las páginas (para lo que basta con pulsar el botón derecho y posteriormente seleccionar la opción "Ver código fuente") se puede saber si la imagen procede del caso o no, por lo que se puede saber si hay o no una patología. Por otro lado, en el caso de los vídeos, puede saberse si el vídeo se está repitiendo o no, lo que ofrece importantes pistas que reducen la eficacia del sistema.

Un aspecto que debe desarrollarse para asegurar el uso futuro de la aplicación es el sistema de adición de nuevos casos. Actualmente para poder realizarla es necesario tener ciertos conocimientos técnicos para crear las imágenes de exploración mediante el uso de Adobe Photoshop u otra herramienta similar, recodificar los vídeos a Thedora/OGG o MPEG4/MP4, programar en la base de datos la correspondencia de los archivos con cada exploración… Para asegurar que realmente el sistema no muere, se usa y se añaden casos nuevos debería desarrollarse un módulo completo de creación de casos nuevos en el que un usuario no avanzado pudiera añadir nuevos casos y catalogarlos para su correcto funcionamiento.

Por último, sería deseable también dejar la aplicación preparada para su uso con tabletas, *smartphones* y soportes con pantallas táctiles. Cada día el acceso a los recursos en línea a través de éstos dispositivos es mayor, por lo que realizar este cambio no solo es interesante sino, como se ha dicho al principio, deseable.

5.5.2 **Aspectos clínicos**

Desde el punto de vista clínico igualmente deberían añadirse más casos y con una mayor variedad de casuística ya que actualmente solo hay cojeras de las extremidades anteriores, lo que es una clara debilidad del sistema.

Por otro lado, sería interesante también permitir al sistema la incorporación de casos clínicos con cojeras de múltiples extremidades. Para esto debería habilitarse la opción de realizar las pruebas complementarias sobre cualquier extremidad, y no solo sobre una predeterminada.

Para ello, en la sección de radiografía, deberían poder obtenerse placas radiográficas de cualquier extremidad. Debería eliminarse también el rango fijo de placas radiográficas en el cual el “dosímetro digital” alerta del exceso de las mismas, ya que en función de las extremidades afectadas podría variar el número de exámenes realizados sin poder considerarse un exceso.

Otro apartado que también debería modificarse en las pruebas complementarias es el de las anestesias diagnósticas, que debería tener controlado qué extremidades se han anestesiado y cuáles no, lo que obligaría también a recabar una gran cantidad de material multimedia para

poder ilustrar con vídeos las distintas combinaciones posibles de dichas anestesias. Debería también tener en cuenta quizá el tiempo transcurrido desde cada punción así como el anestésico utilizado, para poder estimar la difusión del mismo y su desaparición del organismo y variar el vídeo mostrado en función de todas estas variables. Para ello también debería variarse la estructura de la base de datos, para poder clasificar los vídeos de una forma más clara y asignarlos a cada caso.

Como anteriormente se ha dicho, deberían mostrarse los vídeos de los movimientos naturales tanto en terreno duro como en terreno blando, pero actualmente la aplicación solo dispone de los vídeos en superficies duras. Esto es así porque en el momento de la implementación de la herramienta no se disponía de pista blanda para trotar caballos. Por ello, deberían sustituirse los casos por otros en los que se hayan recogido ambos tipos de vídeo.

Por último, cabe pensar en dar al usuario una mayor libertad en la sección de ecografía, a fin de acercar a los discentes a la realidad de dicha técnica. Ese proyecto, sin embargo, supondría en sí mismo un importante desafío, más cercano a la creación de un simulador de ecografía que al desarrollo de un módulo para el presente simulador. Para poder realizar un apartado de ecografía que realmente coincida con la idea de libertad diagnóstica que posee la aplicación desarrollada, se debería tomar un examen ecográfico completo en vídeo permitiendo ajustar el posicionamiento de la sonda, la inclinación, la frecuencia, la profundidad, la ganancia… Este nivel de complejidad sería más interesante para una nueva aplicación completa que para un módulo del presente simulador, el cual con una imagen estática en caso de proceso patológico ya ofrece al usuario suficiente información.

5.5.3 **Aspectos docentes**

Desde el punto de vista de mejora docente de la herramienta hay una serie de funciones que se podrían implementar sobre este modelo.

Una posible modificación para la aplicación sería que fuera almacenando en todo momento los pasos que el usuario realiza y en qué orden lo hace. De esta información podrían extraerse varias funcionalidades que podrían ser muy útiles como la elaboración de un informe completo de los pasos que ha dado el usuario (informe que el usuario puede utilizar para ver si consigue disminuir esos pasos) incluso con un número de pasos de referencia que permita al usuario ver cuánto se desvía de una resolución promedio del caso o directamente la evaluación del alumno mediante el uso de la aplicación (que podría enviar automáticamente el informe al profesor encargado de la asignatura).

Si se almacenaran estos pasos, además, el sistema sabría si se ha realizado ya una prueba y permitiría al usuario un revisionado de las pruebas realizadas con anterioridad. Esto tiene especial importancia en el caso de las placas radiográficas; actualmente, si el usuario quiere volver a ver una, el sistema la contará como nueva avanzando el contador del dosímetro.

Esto puede facilitar también que, cuando se incremente el número de vídeos por caso y se reproduzcan al azar, siempre se muestre el mismo vídeo cuando se efectúa la misma prueba, pero no sea el mismo para todos los usuarios. De esta forma se individualiza al usuario en una sala de prácticas común, no sabiendo si ha recibido el mismo resultado que su compañero o no y obligándole a prestar atención a su propio caso.

Por otro lado, si el usuario realiza una anestesia diagnóstica de un punto elevado y luego de uno inferior, el programa debería poder asumir que esta última no tiene efecto ya que la zona estaría

anestesiada y obrar en consecuencia. Además, podría anotar este hecho para comunicárselo al usuario en el informe de manera que pueda mejorar su praxis.

Otra función posible que podría desarrollarse al mantener todo almacenado sería la posibilidad de analizar los costes derivados de la praxis del usuario y compararlos con un precio promedio de la técnica. En definitiva es una manera de ofrecer una referencia, pero en un contexto real de campo que, debido a la importancia en la vida de todos, puede actuar como revulsivo a la hora de motivar el esfuerzo.

También debería incrementarse el número de placas radiográficas mostrando zonas ahora mismo no disponibles como la cadera o la espalda. Como en el caso de los vídeos, debería mostrarse siempre la misma placa cuando se realiza la misma prueba durante la misma sesión. Otra opción en la sección del examen radiográfico sería solicitar al usuario que valore si ve o no alguna patología y haga clic en la zona que considera patológica para facilitar la evaluación.

Todos los puntos mencionados anteriormente deben entenderse más como "oportunidades de mejora" que como "debilidades"; no en vano el "Simulador de Diagnóstico de Cojeras en Caballos" desarrollado en el Departamento de Patología Animal de la Universidad de Zaragoza ha demostrado un gran atractivo en todos los foros en los que se ha presentado. Y no solo ha generado comentarios positivos por su concepción y desarrollo, sino también solicitudes para poder utilizarlo por parte de otros profesionales en la docencia de la patología quirúrgica equina (ver anexo 10.3).

En el caso de los alumnos, podemos observar en la primera encuesta (ver anexo 10.1) que la acogida de la herramienta es muy buena entre los alumnos, a pesar de que los interesados directamente en la especie equina son una minoría (4,35%) un 83% considera la aplicación útil o muy útil para la docencia. En la encuesta realizada posteriormente en la asignatura de "Clínica Hospitalaria" (ver anexo 10.2) el simulador logró una puntuación de 4,09 sobre 5. La menor participación en esta segunda encuesta (62,5%) puede ser explicada porque si bien la primera encuesta se realizó a alumnos de una asignatura opcional (Traumatología, Ortopedia y Podología, en la cual los matriculados están naturalmente dispuestos al estudio de la patología del aparato locomotor) la segunda encuesta se realizó a alumnos de una asignatura obligatoria en la que posiblemente la motivación de algunos de ellos fuera más baja.

Por otra parte, si se compara con otros ejemplos de aplicaciones similares existentes en la web (94) se ha conseguido desarrollar una aplicación mucho más completa, que observa todos los pasos recomendados para el correcto diagnóstico de las cojeras en los caballos (80, 81, 83, 84) y reúne varias de las competencias requeridas por las instituciones españolas, internacionales y extranjeras y señaladas como competencias de día 1 (1–3, 79).

La aplicación desarrollada posee un aspecto gráfico más elaborado, incrementando probablemente la motivación del usuario y fomentando su participación activa. En la elección de casos permite conocer el grado de dificultad de cada uno de ellos. Permite también elegir las pruebas que se deben realizar así como el orden en que se quieren hacer. La documentación multimedia es mucho más extensa, contando con una mayor variedad de imágenes y vídeos. Nuestra aplicación, además, evita un "encorsetamiento diagnóstico" para que el futuro clínico pueda elegir en todo momento el proceso de diagnóstico que más se adecúe a su *praxis* y no la que considera el diseñador de la aplicación, procurando en todo momento guiar al usuario sin entorpecerle.

Sin embargo, fue precisamente el conocimiento de la citada aplicación, más básica, lo que motivó el desarrollo posterior de la herramienta desarrollada.

6
Simulador de Herencia Mendeliana (La herencia de las capas en el PRE)

Justificación

Antecedentes

Material y métodos

Resultados

Análisis de debilidades del sistema

“Creo que quizá el problema más importante es que estamos intentando entender los mecanismos fundamentales del Universo mediante un lenguaje diseñado para comunicarnos entre nosotros dónde está la mejor fruta”

Terry Pratchett

Imagen Original: Peter Hellberg. Flickr

6.1 Justificación

Las leyes de Mendel son un conocimiento básico que todo aquel que haya recibido una educación básica debería haber asimilado. Su aprehensión no solo redunda en la comprensión de una serie de conceptos que pueden aplicarse en la vida diaria de las personas como qué es un OMG (Organismo Modificado Genéticamente) y sus implicaciones para el individuo y el ecosistema, cómo funciona la herencia del fenotipo de una persona (pelo, ojos, grupos sanguíneos…), el concepto de raza y sus implicaciones reales, etc. (95), sino también en un posible mejor desempeño profesional del individuo cuando comienza su vida laboral.

Si bien las leyes de Mendel son básicas y sencillas de aprender y aprehender, hay una serie de puntos en la ampliación de las mismas que, sin una herramienta de ayuda, pueden resultar confusos.

Debemos tener en cuenta que, en el caso concreto de la profesión veterinaria, los organismos reguladores de la formación, tanto en España como en Europa, consideran la genética como una de las competencias obligatorias que deben adquirirse en la formación de grado (1, 13). Además, la genética es básica en el trabajo diario del veterinario teniendo implicaciones económicas muy importantes en todas las especies (96).

En el caso concreto del caballo, y en especial en el pura raza español (PRE), el color de la capa es además un factor muy importante en la valoración de un animal. Tanto es así, que la Asociación Nacional de Criadores de Caballos de Pura Raza Española no permite la inscripción del color de la capa de un individuo en el Libro Genealógico si no se han realizado las pruebas genéticas para la determinación de la capa en un laboratorio homologado (97).

Por todo ello, se propuso y se ha creado un simulador de herencia mendeliana que ayude al alumno a adquirir los conceptos y verificar si realmente comprende lo que ha leído, o si por el contrario, aún no es capaz de manejar conceptos como el de epistasia o dominancia.

La herencia del color de la capa en caballos es una herencia de tipo mendeliano que muestra todos los tipos, salvo uno, de variaciones de esta: dominancias completas, incompletas, epistasias dominantes y recesivas así como presencia de genes letales (98).

Esto hace de la herencia del color de la capa en caballos un modelo didáctico mucho más completo que los modelos clásicos que deben utilizar diversos ejemplos: uno para explicar la dominancia (*P. sativum*), otro para la dominancia incompleta (*Phaseolus spp*), otro para la codominancia (grupos sanguíneos) y otro para el concepto de epistasia (*D. melanogaster*).

El conocimiento y reconocimiento de las capas, incluyendo su herencia genética, es necesario para el correcto desarrollo de un estudiante de grado en Veterinaria: la capa es un factor importante a la hora de estimar el valor de ciertos animales, y (consideraciones económicas aparte) hay ciertas enfermedades de origen genético que van asociadas a determinadas capas.

Por los motivos expuestos anteriormente, se ha optado por la herencia de las capas en los caballos como sujeto central de un simulador con el que afianzar el aprendizaje de la herencia mendeliana. Asimismo, es presumible que resulte más atractivo para un estudiante de grado en Veterinaria que los guisantes y las judías.

La herencia mendeliana conforma uno de los tres pilares básicos del modelo educativo de aprendizaje de las bases de la genética, propuesto para la adquisición de una *alfabetización en genética*. Por este motivo, un simulador de estas características no solo sería interesante para la docencia de grado, sino que, con un buen diseño que permita crear ejercicios de complejidad creciente, puede ser una herramienta con un elevado potencial para la docencia preuniversitaria (99).

6.2 Antecedentes

6.2.1 Las capas en el PRE

En el caso de los caballos, la herencia del color de la capa ha sido desde siempre un asunto de gran interés y ha supuesto probablemente un factor de suma importancia en las primeras fases de la domesticación (100). Desde la aceptación de las hipótesis de Mendel se intentó establecer una norma de herencia de dichos colores, pero los primeros intentos fueron infructuosos al intentar realizar el estudio basándose tan solo en los caballos. Más adelante, al utilizar los conocimientos derivados de los estudios de otros mamíferos se pudo establecer un esquema más exacto del funcionamiento de la herencia del color en los caballos (101). Ninguna de las capas que aparecen en los caballos parece estar limitada a una única raza, de lo que se deduce que las mutaciones aparecieron en un estadio muy temprano de la domesticación de los mismos (102, 103). Además, las capas siguen unos modelos relativamente sencillos de herencia mendeliana, con "pocos" genes encargados de su control y un modelo de herencia epistático (104). Estos genes estuvieron entre los primeros caracteres en ser analizados a nivel molecular y han servido para desarrollar modelos para el estudio de la función y regulación de los genes, y la relación entre variaciones fenotípicas, genotipos concretos y procesos fisiológicos (100).

Aunque el caballo es un mal modelo para realizar experimentos debido a su baja prolificidad, su larga gestación, el espacio de estabulación necesario y la formación del personal necesaria, los estudios sobre la herencia de la capa han proporcionado muchos datos para afianzar el descubrimiento de Mendel. En 1906 Hurst validó los principios de Mendel mediante un estudio realizado sobre la herencia de las capas gris, negra, bayo y alazán del Pura Sangre Inglés (PSI) gracias a los datos del libro de registro de sementales de Weatherby. Posteriormente, Sturtevant, Wright, Dobzhansky y Castle realizaron más investigaciones sobre el tema utilizando esos mismos libros de registro (102).

Sin embargo, aunque el color de la capa no tiene la misma importancia en todas las razas de caballos sí tiene importancia en el precio final de un ejemplar. Hay que tener en cuenta que los consumidores buscan más y están dispuestos a pagar más por capas más raras y menos ofertadas en el mercado, llegando a existir una depreciación de hasta un 28% en las capas más frecuentes (96).

En el caso concreto del PRE, debido a su importancia, el color de la capa es un carácter fuertemente regulado cuya inclusión en la reseña no puede realizarse sin una confirmación molecular de la misma. El organismo regulador responsable del libro genealógico del PRE (ANCCE) admite a día de hoy diez genotipos diferentes para la capa del PRE siendo estos tordo, alazán, castaño, negro, palomino, cremello (crema), bayo, perla (perlino), negro cenizo y crema cenizo (97).

La descripción de dichas capas para su correcta identificación es la siguiente (105):

6.2.1.1 *Capa torda*

Tordo: Consiste en una decoloración progresiva del sistema piloso del individuo que no afecta a la piel. Los individuos nacen con su color de capa original y la única evidencia de su futura evolución puede ser la presencia de pelos blancos alrededor de los ojos. Tras la primera muda comienzan a aparecer pelos blancos entre los pigmentados que van aumentando durante la vida del animal hasta que este acaba siendo blanco. Hay que tener en cuenta que la piel y los ojos permanecen siempre pigmentados con su pigmento original, diferenciando así éstos animales de los albinos, que poseen la piel sonrosada y sin pigmentación (Figura 6.1).

Figura 6.1: Caballo tordo (Yeguada "El Bayo", Yéqueda, Huesca)

6.2.1.2 ***Capas básicas***

Alazán: Definida como una capa con todos los pelos rojos, admite una gran cantidad de matices entre las distintas áreas del animal lo que dificulta en cierto modo la identificación de la capa. Los cabos y los extremos del animal (el final de las extremidades, la crin y la cola) admiten cualquier color excepto el negro, aunque pueden aparecer pelos sueltos de color negro en estas zonas sin ser el animal excluido por ello de la capa alazana (Figura 6.2).

Figura 6.2: Caballo alazán (Yeguada "El Bayo", Yéqueda, Huesca)

Castaño: El animal presenta pelos rojos y negros mezclados en cualquier proporción por todo su cuerpo salvo en los cabos y los extremos que son exclusivamente negros (Figura 6.3).

Figura 6.3: Caballo castaño (Yeguada "El Bayo", Yéqueda, Huesca)

Negro: Formada por pelos negros en toda la superficie del animal, tanto cuerpo como cabos y extremos. Los pelos presentan la máxima pigmentación sin en que se aprecien zonas rojizas. Cabe destacar una variación denominada Bocifuego en la cual algunas zonas (alrededor de los ollares y la boca, periferia de los ojos, cuello, parte inferior de los flancos y región anal) aparecen con una coloración roja (Figura 6.4).

Figura 6.4: Caballo negro (Yeguada "El Bayo", Yéqueda, Huesca)

6.2.1.3 *Capas diluidas*

Palomino: Proveniente de un alazán en el cual los pelos rojos se han diluido hasta alcanzar un color amarillo. Posee los cabos y los extremos del mismo color o con un color más claro, llegando a ser casi blancas. En caso de coincidir el color de la capa con el de los cabos, se conoce como Isabela, aunque la ANCCE no utiliza esta denominación (Figura 6.5).

Figura 6.5: Caballo palomino (Peter Broster, Flickr)

Crema: También denominados "pseudoalbinos", poseen un tono crema muy pálido similar al marfil y en ocasiones muy difícil de diferenciar del blanco. Con los cabos (crin y cola) prácticamente blancos y la piel muy sonrosada, como si careciera de pigmentación, poseen también los ojos de un color azulado (Figura 6.6).

Figura 6.6: Caballo crema o cremello (Daysiree Bakker, Flickr)

Bayo: Deriva de una capa castaña en la cual los pelos rojos se han diluido hasta alcanzar un color amarillo. Al contrario que el palomino, posee los cabos y los extremos negros (Figura 6.7).

Figura 6.7: Caballo bayo (D Coetzee, Flickr)

Perla: Poseen un tono crema menos pálido que el cremello. Con los cabos color garbanzo pálido, posee la piel sonrosada y sin pigmentar, y los ojos de color azul (Figura 6.8).

Figura 6.8: Caballo perla o perlino (Alauruin, Flickr)

Negro cenizo: Posee un color uniforme en todo su cuerpo que no es marrón, alazán oscuro ni negro. Posee los cabos y los extremos negros y suele confundirse con caballos castaños o alazanes oscuros. Algunos pueden poseer pelos amarillos alrededor de los ollares y la boca, en la periferia de los ojos y la parte inferior de los flancos (98).

Crema cenizo: Parecido al perla pero con más pigmento, al igual que este también posee la piel sonrosada y sin pigmento y los ojos azules. En la práctica, es prácticamente imposible de distinguir fenotípicamente sin realizar un test genético las tres capas de dilución máxima: crema, perla y crema cenizo (98).

6.2.2 **Bases histológicas y bioquímicas del color de la capa**

El color de la capa de los caballos (y de todos los mamíferos) depende de la melanina producida por los melanocitos. Estas células producen dos tipos diferentes de melanina (100):

- Eumelanina, responsable de los colores negro y marrón.
- Feomelanina, responsable de los colores rojo y amarillo.

Los lugares que no poseen melanocitos, y por lo tanto carecen de melanina, producirán pelo de color blanco.

La gran mayoría de los caballos producen ambos tipos de pigmento y sus capas responden a una combinación de pelos negros, rojos y amarillos (los caballos que producen eumelanina marrón son raros, y no es posible que se generen en el mismo animal eumelanina negra y marrón a la vez) (98).

Los factores que influyen en el color de la capa incluyen el tamaño de los gránulos de melanina, su forma, número y distribución en el pelo (más claro cuanto más densamente se organizan), textura y estructura del pelo y organización intracelular de los melanocitos (106).

Los melanocitos son capaces de generar ambos pigmentos y generan uno u otro en función de la presencia o ausencia de una hormona, la hormona estimuladora de los melanocitos (α-MSH). En presencia de la hormona generan eumelanina, mientras que cuando la hormona no está disponible generan feomelanina. Teniendo en cuenta que la α-MSH está disponible de forma constante para todas las células del organismo, la producción de uno u otro tipo de pigmento se debe realmente a la presencia o ausencia de receptores de membrana para dicha hormona en los melanocitos. Existen varias mutaciones para este receptor que lo pueden mantener en una posición de encendido permanente o por el contrario, inutilizado, produciendo animales totalmente negros, o alazanes.

Otra opción de afectar a la producción de pigmento es mediante el bloqueo externo del receptor de membrana. Este mecanismo, típico del *locus* Agouti que desarrollaremos más adelante, implica que el melanocito puede tener el receptor de membrana bloqueado por la presencia de la proteína agouti, cuya distribución corporal está controlada genéticamente (98). El bloqueo de la proteína sobre el receptor en algunas especies de mamíferos, como en los gatos, puede ser temporal dando lugar a pelos con bandas de diferentes colores al bloquearse y desbloquearse el receptor a lo largo del ciclo de crecimiento del pelo (103, 107).

Otro mecanismo que puede verse modificado es el propio mecanismo interno de producción de pigmento del melanocito. Si bien las rutas de generación de ambos pigmentos son las mismas inicialmente, en las fases finales difieren, por lo que una alteración en estas fases finales puede alterar el pigmento producido finalmente. Esto es importante porque hay mutaciones que alteran la ruta de generación de uno de los pigmentos o de ambos.

Por último, el melanocito almacena el pigmento en unos compartimentos denominados melanosomas. Los cuales pueden distribuirse desde el melanocito a la piel y el pelo circundantes. Este empaquetamiento y distribución también pueden verse afectados alterando la apariencia final del color con el mismo pigmento.

A modo de resumen, el melanocito puede tener afectada su superficie o su "maquinaria interna" a la hora de generar pigmentos. En función de qué parte se ve afectada se modifica qué pigmento se genera (en el caso de la superficie) o por el contrario cuánto pigmento se genera (en el caso de los mecanismos internos de producción de pigmento).

Una última opción de control es la que modifica la migración, supervivencia y función de los melanocitos y que da lugar a la aparición de manchas blancas en la superficie del animal (98).

6.2.3 Bases genéticas de la Herencia Mendeliana

Hace 150 años, el 8 de febrero de 1865 Gregor Mendel presentaba ante la Sociedad de Historia Natural de Brno sus "Experimentos en hibridación de plantas": los resultados de sus experimentos realizados a lo largo de 11 años con individuos de la especie *Pisum sativum* y *Phaseolus* spp. En su charla, posteriormente traducida por Bateson y publicada en el Journal of the Horticultural Society en 1901, sentaba las bases de lo que sería conocido posteriormente como Genética Mendeliana. En ella describió la transferencia de caracteres por una parte del *P. sativum*, en cuyo caso al mezclar dos razas puras, la primera generación se parecería a uno de sus progenitores y al mezclar esta segunda generación entre sí, el carácter que había desaparecido reaparecería en una proporción del 25% (dominancia completa). En el caso de *Phaseolus* spp. la segunda generación era diferente a la parental, con individuos que no se asemejaban a ninguno de los dos casos. Al cruzar estos híbridos entre sí, en la tercera generación aparecían individuos iguales a los híbridos e individuos iguales a la generación parental (dominancia incompleta) (108). Tras el redescubrimiento en 1900 del trabajo de Mendel, en 2 años Bateson y Saunders ya habían demostrado que las crestas de los pollos, el color de la piel de las extremidades, la polidactilia, el color blanco del plumaje de los pollos y la ausencia de cornamenta en terneras seguían esa heredabilidad "mendeliana". Para el año 1918 la hipótesis del Mendel ya estaba ampliamente aceptada y Ronald Fisher fue capaz de desarrollar un modelo cuantitativo de variación genética basado en los efectos combinados de varios "elementos mendelianos" aún sin saber cuál era la naturaleza de los mismos. Sin embargo, Mendel no fue el primero en interesarse por el funcionamiento de la herencia, sino que él mismo estaba influenciado por los criadores de ovejas, los cuales fundaron en 1814 la Sociedad de Criadores de Ovejas de Moravia cuyo principal objetivo era el estudio de la herencia y que publicaba un boletín semanal que alcanzó una tirada de 6.000 ejemplares (109).

Estos mecanismos de la herencia, cuyo efecto fue descrito inicialmente por Mendel, fueron ignorados por la comunidad científica a lo largo de 30 años, siendo desplazados por las teorías de Darwin, hasta que en 1902 Bateson señaló la importancia de los estudios de Mendel (110). Tras este redescubrimiento, se llegó pronto a la conclusión de que la herencia no podía entenderse solo mediante el estudio de genes individuales, sino que interactúan entre ellos distorsionando las proporciones de Mendel y, en ocasiones, produciendo nuevos fenotipos. Posteriormente Bateson acuñó el término "epistasia" denominando así a la situación en la cual el efecto de un *locus* enmascara el efecto de un alelo presente en otro *locus* en un modo similar al de la dominancia completa (111). Aunque inicialmente no hubo acuerdo entre la escuela Biométrica de genética y la Mendeliana (112), Fisher concluyó el debate demostrando analíticamente que la segregación mendeliana era compatible con las leyes biométricas de la herencia (113).

Con este mapa completo, se analizaron inicialmente las distintas opciones que ofrecía la herencia mendeliana, y se definieron los siguientes conceptos básicos (110) (que posteriormente fueron parcialmente revisados):

- Principio de uniformidad: Cuando se cruzan dos individuos que difieren en un carácter, toda su descendencia suele mostrar el carácter de uno de los dos progenitores (Dominancia completa).
- Ley de la segregación: Un heterocigoto, sea cual sea su carácter, producirá gametos que llevarán el carácter de uno solo de los progenitores. Por ello, al cruzar heterocigotos entre sí, volverá a aparecer el carácter oculto en una proporción 1:3.
- Ley de la independencia de los caracteres hereditarios: Los caracteres son heredados independientemente unos de otros, sin relación entre ellos.
- Hay ocasiones en que los individuos resultantes de un cruzamiento son iguales entre sí y diferentes a ambos progenitores (Dominancia incompleta), en ese caso, al cruzarlos entre sí vuelven a aparecer los dos caracteres ocultos en una proporción 1:2:1.

Hasta este punto, tenemos la herencia de un único carácter sin influencia alguna de otros genes. Sin embargo, al añadir el modelo de epistasia de Fisher se observa también otra serie de conceptos. Para evaluar estos conceptos debemos en todo momento realizar cruces entre individuos heterocigotos. Si no existiera epistasia alguna y los genes se expresarían siguiendo la norma de la dominancia completa, los individuos mostrarían los caracteres con una proporción 9:3:3:1. En caso de interacción, observamos lo siguiente (111) (Tabla 6.1):

- Epistasia dominante: Dados dos caracteres, el alelo dominante de uno de ellos oculta la expresión del segundo carácter (denominado Hipostático). En este caso si cruzamos híbridos entre sí, la proporción final será de 12:3:1.
- Epistasia recesiva: Dados dos caracteres, el alelo recesivo de uno de ellos oculta la expresión del segundo carácter. En este caso, la proporción obtenida sería 9:3:4.

Tipo de interacción	A-B-	A-bb	aaB-	aabb
Proporción clásica	**9**	**3**	**3**	**1**
Epistasia dominante	**12**		**3**	**1**
Epistasia recesiva	**9**	**3**	**4**	
Genes dominantes duplicados con efecto acumulativo	**9**	**6**		**1**
Genes dominantes duplicados	**15**			**1**
Genes recesivos duplicados	**9**	**7**		
Interacción dominante y recesiva	**13**		**3**	

Tabla 6.1: Proporciones de segregación inusuales (111)

Como se ha expuesto anteriormente, un campo en el que lleva estudiándose la herencia desde hace miles de años es el de la cría de animales (114). El propio Mendel se inspiró en los experimentos sobre cría de ovejas y Darwin propuso su propia, aunque incorrecta, hipótesis en 1868 (109).

Recapitulando todo lo anterior, las definiciones actualmente aceptadas son las siguientes (98):

- Un único gen:
  - Genotipo: Carga genética de un individuo. Para cada gen consta de dos copias, una procedente de cada progenitor.
  - Fenotipo: Caracteres que expresa un individuo.
  - Alelo: Cada una de las variaciones que puede mostrar un gen.
  - Alelo Dominante: Alelo que se expresa independientemente del otro alelo que posea el gen.
  - Alelo Recesivo: Alelo que solo se expresa si el individuo es homocigoto para ese carácter. En casos de dominancia incompleta puede modular la expresión del alelo dominante.
  - Homocigoto: Individuo con ambos alelos de un determinado gen iguales.
  - Heterocigoto: Individuo con ambos alelos de un determinado gen diferentes.
  - Dominancia Completa: Modelo de herencia en el cual el fenotipo de un individuo viene determinado por la expresión de un solo alelo.
  - Dominancia Incompleta: Modelo de herencia en el cual el fenotipo de un individuo heterocigoto es diferente al de los homocigotos para un determinado carácter.
  - Codominancia: Modelo de herencia en el cual el individuo expresa ambos alelos a la vez.
- Interacción entre varios genes:
  - Epistasia: Similar a la dominancia y recesividad pero afectando a varios genes diferentes. Es un modelo de herencia en el cual la expresión de un carácter en un gen enmascara la expresión de otro carácter en otro gen diferente.
  - Gen epistático: Aquel que se muestra.
  - Gen hipostático: Aquel que es enmascarado por la expresión del gen epistático.
  - Epistasia dominante: Aquella en la que la presencia de un alelo dominante en el gen epistático enmascara al gen hipostático.
  - Epistasia recesiva: Aquella en que el gen epistático necesita la presencia de dos alelos recesivos para enmascarar al hipostático.

6.2.4 El control genético de las capas en los caballos

En los mamíferos, los genes responsables del color de la capa y de la piel pueden dividirse en dos grandes grupos: aquellos que afectan a la síntesis de la melanina, y aquellos que afectan a los melanocitos. De la misma manera, las modificaciones de la capa dependen bien de la melanina sintetizada, bien de los melanocitos o de combinaciones de ambos mecanismos. En general, las mutaciones en la cara externa del melanocito están relacionadas con la proporción de feomelanina (colores rojo y amarillo) frente a eumelanina (colores negro y marrón). Otros genes producen cambios en la concentración de pigmento, afectando al funcionamiento interno de la célula y produciendo efectos de dilución en la capa. Por último, otros *loci* controlan la diferenciación, proliferación y migración de los melanocitos (100).

En los mamíferos se han identificado varias series alélicas encargadas del control de las capas. Estas series no solo son parecidas en todos los mamíferos, sino que además sus relaciones de dominancia son también similares por lo que el control de las capas en todos los mamíferos tiene cierta similitud. Las series alélicas responsables son (103):

- Extension (E): Los alelos del *locus* E varían la proporción de eumelanina frente a la de feomelanina.
- Agouti (A): Este *locus* es el responsable de la distribución regional de eumelanina o feomelanina. Es responsable de la síntesis de una proteína que anula la acción de la α-MSH por lo que en las regiones en que esta proteína está presente los melanocitos generan feomelanina, y si no está presente generan eumelanina.
- Albino (C): Encargado del control del a intensidad del pigmento en pelo, piel y ojos. Normalmente produce una escala desde el homocigoto dominante hasta el homocigoto recesivo con una pigmentación que disminuye con cada paso. Codifica la generación de la tirosinasa, esencial para la melanogénesis. El alelo recesivo codifica una variedad con una actividad reducida o inexistente, por lo que los melanocitos están pero son incapaces de generar melanina.
- Dilution (D): Al igual que el albino, son los encargados de la intensidad de la capa y el color de los ojos aunque actúan mediante otro mecanismo diferente. En este caso al secretarse los gránulos se aglomeran dando lugar a un patrón irregular de distribución del pigmento, lo que disminuye la capacidad de absorción de luz. A escala macroscópica, esto implica que la capa negra se ve de color gris.
- Manchas blancas: Los patrones de manchas son independientes del color de fondo de cualquier mamífero. Este *locus* parece actuar en la diferenciación de los melanocitos en la cresta neural, así como en su migración a las distintas zonas del cuerpo. El resultado son zonas blancas en animales pigmentados de forma normal por otra parte.

En el caso concreto de los caballos, el color de la capa está gobernada por 12 *loci* divididos en tres grupos en función de su acción (103) (Tabla 6.2):

- Encargados del color:
  - *Locus* W (White): Gen autosómico dominante, ejerce una epistasia dominante sobre todo el resto de *loci*. Posee dos alelos (W y w) produciendo un animal albino en heterocigosis (103). Por otra parte, el alelo W es letal en homocigosis en un estado temprano de la gestación. Por este motivo, y por los problemas de piel que genera en algunos individuos heterocigotos, se ha intentado eliminar de algunas razas (115).
  - *Locus* G (Grey): Gen autosómico dominante, ejerce una epistasia dominante sobre todo el resto de *loci* salvo para el *locus* W. Posee dos alelos: G y g. La acción del alelo G no tiene por qué verse en el nacimiento del animal, que puede nacer de cualquier color e ir volviéndose tordo con la edad (102).
  - *Locus* E (Extension): Gen autosómico dominante, ejerce una epistasia recesiva sobre el *locus* A. Posee dos alelos: E que da lugar a individuos negros y e que da lugar, en homocigosis, a individuos alazanes (103).
  - *Locus* A (Agouti): Gen autosómico dominante. Un animal con el alelo A mostrará una capa castaña, mientras que un homocigoto aa será negro. Hay dos alelos alternativos propuestos para el *locus* A, A+ y At, que podrían ser responsables de algunas variaciones en la pigmentación, pero aún no hay confirmación molecular de los mismos (102).

- Encargados de la dilución:
  - *Locus* C (Cream): Es el gen responsable de la producción de tirosinasa y es probablemente el más común de los genes de dilución (102). En heterocigosis produce la dilución de la feomelanina de rojo a amarillo sin afectar a la eumelanina. Posee una dominancia incompleta y en su forma homocigota sí es capaz de afectar a la eumelanina.

    Cuando en el *locus* E tenemos el alelo homocigoto recesivo ee da lugar a las capas Isabela (en heterocigosis) y Cremella (en homocigosis).

    Cuando por el contrario en el *locus* E poseemos el alelo E da lugar a varias capas diferentes en función también del *locus* A. En presencia del alelo A dará lugar a la capa Baya, y en presencia del alelo aa en homocigosis a la Perlina (116).

    En animales negros con los alelos aa da lugar a una dilución leve en determinadas áreas llamada Ceniza si el alelo Cr se encuentra en heterocigosis. Si por el contrario se encuentra en homocigosis dará lugar a la capa Perla Cenizo (102).
  - *Locus* CH (Champagne): Gen autosómico dominante, posee un control epistático dominante sobre los colores básicos (100). Produce un cambio de color de la eumelanina a oliva o chocolate, y de la feomelanina a amarillo o dorado. Da un aspecto metalizado al pelo y dependiendo del "color de fondo" puede confundirse fácilmente con las capas Isabela o Baya. Sobre un animal negro da lugar a una capa color oliva metalizado (Champán clásico) muy característica, aunque sin una nomenclatura oficial en los libros de registro (102).
  - *Locus* D (Dun): Al igual que el gen champagne, es autosómico dominante con un control epistático dominante sobre los colores básicos. Afecta tanto a la eumelanina como a la feomelanina. En el caso del caballo alazán, produce un cambio de color a rojo pálido o amarillo rojizo en la capa llamada Cervuna. En el caso de un caballo castaño produce una capa gris llamada Lobera (102, 117). En conjunción con los genes de dilución produce patrones en la capa que incluyen la cabeza oscura, extremos oscuros, listón en la espalda, líneas en los hombros y en las extremidades. Aunque puede confundirse con las capas derivadas de la acción del gen Cream, su modo de acción es diferente. En este caso no altera la composición química de la melanina sino su aglomeración, consiguiendo un efecto parecido (102).
  - *Locus* Z (Silver dapple): Gen autosómico dominante, tiene un control epistático sobre el castaño y el negro con poco o ningún efecto sobre el alazán. Da lugar a la capa Plateada (Silver Dapple en inglés) (100). En caballos negros produce un animal con una capa color marrón o marrón oscuro con la crin y la cola plateadas o rubias. En caballos castaños produce una dilución del color hasta hacerlo parecer alazán con la crin y la cola rubias o plateadas (102).

- Encargados del patrón de manchas:
  - *Locus* RN (Roan): Gen autosómico dominante, epistático dominante sobre todos los colores. Posee dos alelos, RN y rn, el genotipo RNRN es letal (100). Presenta una capa con mezcla de pelos del color del fondo y blancos aunque al contrario que en el caso del tordo, el blanco no aumenta con la edad del animal. La cabeza y las extremidades tienden a ser del color de fondo sin ningún pelo blanco, circunstancia que también puede darse en las cicatrices (102).
  - *Locus* TO (Tobiano): Gen autosómico dominante, epistático dominante sobre todos los colores (100). Muestra un patrón blanco sobre cualquier color de fondo y se caracteriza por poseer la piel rosa, sin pigmentar, las cuatro extremidades blancas y zonas blancas cruzando por el cuerpo por la espalda de lado a lado entre la cruz y la grupa. La amplitud de las zonas blancas es variable y no muestra ninguna simetría (102).
  - *Locus* LP (Apaloosa o Leopard): Gen autosómico con dominancia incompleta, epistático sobre todos los colores (100). Caracterizado por un patrón complejo de machas y patrones ruanos de extensión variable. El patrón se encuentra distribuido de forma simétrica sobre la cadera, hacia delante y hacia abajo. También es característica la piel moteada, la esclerótica blanca y los cascos a rayas. En el momento del nacimiento se observa alguna manifestación del patrón blanco que suele crecer hasta los 5 años de edad (102). Los homocigotos LP tienden a mostrar menos pigmentación que los heterocigotos (100).
  - *Locus* O (Overo): Gen autosómico dominante, epistático dominante sobre todos los colores. Posee dos alelos, O y o, siendo letal el genotipo OO (100). Muestra un patrón de manchas variable, distinto del tobiano o apaloosa. Las manchas son de una extensión de moderada a grande sobre todo en la cara. También muestra parches blancos en los laterales del cuello y del cuerpo. Es una capa muy heterogénea con una literatura al respecto muy poco concluyente (102).

Fenotipo	*Loci*											
	Albino	Tordo	Negro/Rojo		Dilución				Diseño			
	W	G	E	A	C	D	Z	Ch	To	O	Lp	Rn
Albino	W-	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
Tordo		G-	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
Castaño			E-	A-	CC							
Negro			E-									
Bocifuego			E-	at?								
Alazán				~								
Bayo			E-	A-	CC^{Cr}							
Isabela				~	CC^{Cr}							
Negro Cenizo			E-		CC^{Cr}							
Crema Cenizo			E-		$C^{Cr}C_{Cr}$							
Cremello				~	$C^{Cr}C_{Cr}$	~	~	~	~	~	~	~
Perlino			E-	A-	$C^{Cr}C_{Cr}$	~	~	~	~	~	~	~
Ruano			E-									Rn-
Pío (Tobiano)			E-	A-				++	To-		lplp	
Overo/Tobiano			E-	A-	CC^{Cr}				To-	O-	lplp	
Pío (Overo)				~	CC^{Cr}					O-		
Apaloosa			~	~							Lp-	
Cervuno				~	CC	D-						
Lobero			E-	A-	CC	D-						
Silver Dapple			E-	~	CC		Z-					
Champán			E-					Ch-				

~: Configuración alélica indiferente

La existencia del alelo "at" responsable del Bocifuego está en duda

Casilla en blanco: Alelos recesivos

Tabla 6.2: Control genético de las capas en caballos (103)

6.2.5 Otras aplicaciones existentes para la docencia de la herencia del color de las capas en caballos

Realizando una búsqueda en la red, no hay demasiadas aplicaciones que muestren el funcionamiento de la herencia del color de la capa en caballos.

La gran mayoría de las páginas utilizan distintas versiones del mismo simulador, el simulador de color de caballos de Jennifer Hoffman.

Si bien este simulador muestra las distintas combinaciones génicas y capas asociadas a cada una de estas combinaciones, no da más información que una somera descripción de la misma y carece por completo de ejercicios que puedan realizarse y por lo tanto de corrección de los conocimientos del usuario.
Es un simulador sencillo y vistoso aunque poco práctico desde el punto de vista de la docencia ya que carece de una explicación, aunque sea básica, del funcionamiento de la herencia mendeliana en general y del color de la capa en particular y sus diferentes casos. No hay documentos que describan las capas ni imágenes reales que las ilustren.

URL: http://www.jenniferhoffman.net/horse/horse-color-genetics.html

El segundo caso, también un simulador, permite realizar el cruzamiento de dos individuos de los cuales podemos o no conocer el genotipo, o al menos parte de los genes que afectan a la capa escogida. Informa de la posible descendencia así como de las proporciones en las que aparecerá cada capa. Al igual que el anterior, carece de ningún soporte documental que describa nada e igualmente no es excesivamente útil desde el punto de vista docente.

URL: http://www.animalgenetics.us/Equine/CCalculator1.asp

6.3 Material y métodos

6.3.1 Sistematización del proceso para su implementación como herramienta web mediante el uso de DFD

En 1865 y en plena carrera por descubrir los mecanismos de la herencia, Gregor Mendel presentó ante el mundo el experimento del que se extrajeron las que posteriormente fueron conocidas como las Leyes de Mendel.

Cincuenta y cuatro años más tarde, Fisher acabaría de perfilar las leyes de la Herencia Mendeliana quedando por fin sentadas las bases del funcionamiento de la misma. Dicho funcionamiento, desde el punto de vista matemático, es sencillo y mimetizable por lo que es un buen candidato a ser trasladado a un soporte informático.

Al igual que en el capítulo anterior, el primer paso fué el diseño de los DFD de los ejercicios presentes en el simulador para analizar qué iba a hacer la aplicación y qué necesitaba para funcionar.

En este caso, la aplicación propone una serie de ejercicios pero no un recorrido diagnóstico, por lo que permitir o no el acceso a cada uno de los puntos no era primordial.

La aplicación incluye cuatro ejercicios y la documentación de ayuda a disposición de los usuarios. Dichos ejercicios se organizan en dos bloques: el primer bloque, con dos ejercicios, se diseñó para ayudar como recordatorio de los nombres de las capas en los caballos; y el segundo bloque, también con dos ejercicios, se diseñó para afianzar los conceptos de dominancia completa, epistasia dominante y epistasia recesiva.

- Reconocimiento de capas 1 y 2: Ambos ejercicios buscan que el usuario asocie una imagen (fenotipo) con un nombre de capa concreto. Para ello, se presenta un problema y cuatro opciones a elegir. En el primer ejercicio se presenta una imagen y cuatro opciones de capas y en el segundo ejercicio se presenta una opción de capas y cuatro fotografías diferentes entre las que elegir dicha capa.
- Dominancia completa: Dicho ejercicio utiliza un cuadro de Punnett para mostrar el cruzamiento entre todos los posibles individuos de un gen con dominancia completa. En él, el usuario debe indicar qué individuos obtendrán una capa concreta.
- Epistasia: Se muestran tres imágenes de caballos (negro, castaño, alazán o tordo), y cuatro posibles genotipos con los genes Extension, Agouti y Grey. El usuario debe indicar qué genotipo corresponde a cada una de las tres fotografías, teniendo en cuenta que uno de ellos no es correcto.

Cuando se generan los ejercicios, en todos ellos existen llamadas a un módulo capaz de generar genotipos, interpretarlos y devolver un genotipo y su expresión fenotípica. Aunque en algunos casos hubiera bastado con escoger aleatoriamente imágenes de las cuatro capas diferentes del PRE presentes en la aplicación, se prefirió generar un genotipo entero cada vez y corregirlo para identificar la capa bloqueando desde un módulo de la base de datos los alelos que pueden aparecer para, de este modo, poder ampliar en un futuro los individuos de cada ejercicio una vez implementadas nuevas capas existentes en el PRE u otras capas presentes en otras razas.

Además, tras analizar los resultados del Simulador de Diagnóstico de Cojeras, también se creó un módulo que almacena los ejercicios que está realizando el usuario en memoria para que estos no cambien hasta que resuelva cada uno de ellos. De ese modo, también se lleva un recuento del

número de intentos que el usuario realiza para poder mostrárselo en el momento de la corrección del ejercicio y que este pueda realizar un análisis de su mejoría en el campo.

6.3.2 Análisis del material necesario para documentar los casos y sistematización de la nomenclatura de los archivos

Diseñado el flujo de la información en el sistema y sus posibilidades, el siguiente paso consistió en realizar un análisis de la información que debía recogerse para poder crear la aplicación.

En este caso la cantidad de material era sensiblemente inferior al que debía recogerse para la aplicación anterior. Tan solo era necesario conseguir fotografías de caballos con sus diferentes capas. Hay que tener en cuenta que el simulador se centra en la herencia de capas en el Pura Raza Español (PRE) por lo que, aunque la lógica del sistema esté preparada para el futuro y admita todas las capas existentes en los caballos, las imágenes que debían recogerse se limitaban a las capas negro, castaño, alazán y tordo. Para el resto de capas era suficiente con la preparación de esquemas que dejaran clara la capa representada y que se utilizarían solo para la validación del módulo de generación y el de corrección de genotipo.

6.3.3 Análisis y elección del método de autoevaluación

A la hora de diseñar el método de autoevaluación en este caso, se partió de lo aprendido en la aplicación anteriormente descrita.

En este caso no tenía interés dar información acerca de los motivos por los que una respuesta es o no válida, ya que los argumentos son mínimos y claramente explicados en los archivos de ayuda.

Sin embargo, para permitir al usuario evaluar su grado de control de los conocimientos, se almacenan en memoria los intentos realizados para resolver un problema y se comunica al usuario cuántos ha realizado cuando responde correcta o incorrectamente.

6.3.4 Temas de ayuda

Para ayudar al usuario a utilizar la aplicación se le provee de los conceptos necesarios básicos para poder utilizarla.

Los temas que se prepararon para estar a disposición del usuario para descargar son:

- Clasificación y reconocimiento de las capas en caballos: Documento con imágenes que muestran las distintas capas que puede mostrar un caballo, con los puntos necesarios para identificarlas.
- Ampliación del análisis mendeliano: Se expone al usuario los conceptos de: variaciones de la dominancia (dominancia incompleta y codominancia), series alélicas, epistasias, genes letales, penetrancia y expresividad.
- Herencia de las capas en caballos: Expone el funcionamiento genético de la expresión del color de la capa en caballos.

De este modo, cualquier usuario con un conocimiento muy básico de las Leyes de Mendel puede leer estos temas y ser capaz de responder a los ejercicios propuestos sin otro conocimiento.

6.3.5 **Diseño de la aplicación**

Nuevamente y con la vista puesta en la futura evolución de la aplicación, se optó por una arquitectura N-*layer* N-*tier* con tres capas (GUI, Negocio y Datos) y tres posibles niveles (cliente, servidor web, servidor de base de datos).

La GUI se desarrolló en HTML4 tomando como base la imagen corporativa de la web institucional de la Universidad de Zaragoza en el momento en que se desarrolló la aplicación. Se separó el contenido de la información referente a la estética en que se muestra dicho contenido, dejando programado este último en hojas de estilos en cascada con formato CSS y aprovechando en la medida de lo posible las hojas de estilo institucionales.

Se procuró que la imagen de la GUI sea limpia, basada en color blanco y con una resolución aconsejada de 800 por 600 píxeles. El fondo de pantalla muestra una doble hélice de DNA difuminada sobre fondo blanco para crear un espacio lo más diáfano posible. La presencia del menú en el extremo izquierdo de la pantalla, deja un ancho útil final que asciende a 610 píxeles.

En el menú situado a la izquierda de la pantalla se situaron los enlaces tanto a los diferentes ejercicios como a los documentos de ayuda preparados por el personal docente. Se prepararon también dos imágenes de fondo para los casos de respuesta correcta e incorrecta del usuario, uno con tonos azules y verdes, en el caso de la respuesta correcta, y otro con tonos rojos, en el caso de la respuesta incorrecta. Además del esquema de colores, el mensaje de corrección-incorrección se acentuó con la inclusión de un semáforo en verde o en rojo.

En este caso, el soporte multimedia que se necesita mostrar se reduce tan solo a archivos de imagen (ni vídeo ni audio como en el caso anterior) por lo que la programación de la GUI es relativamente sencilla siendo en todo momento compatible con todos los navegadores, desde el obsoleto Microsoft Internet Explorer 6 hasta la última versión de Mozilla Firefox.

Los cálculos que debe realizar el ordenador del usuario son, por tanto, mínimos. Por ello la aplicación es ejecutable en cualquier dispositivo, incluyendo tabletas y *smartphones* siendo el único limitante para la correcta experiencia de usuario la resolución de la pantalla del dispositivo.

La Capa de Datos se dividió nuevamente en dos bloques, uno con los archivos multimedia y otro con los datos de los ejercicios insertados en la base de datos. Los archivos multimedia, al igual que en el caso anterior, se localizarían normalizados fuera de la base de datos en un directorio como se definirá más adelante. Esto hace que la ampliación de imágenes sea más farragosa, ya que implica cargarlas primero en el servidor y posteriormente programar la base de datos para que "sea consciente" de la existencia de dichas imágenes, pero también ayuda a mantener una base de datos de tamaño contenido y a minimizar en todo lo posible los accesos a la misma y el volumen de datos que tiene que enviar.

En este caso no hay textos almacenados en la base de datos, que solo requiere identificaciones de capas que posteriormente la capa de negocio traduce e interpreta enviando a la GUI el resultado del ejercicio.

Por otro lado, también se almacenarían en la base de datos las variables que utiliza cada ejercicio, de forma que se pueden evitar genotipos no deseados, así como bloquear a la hora de visualizar un genotipo cuáles son los genes que no deben verse.

En este caso, la Capa de Negocio fue la parte más compleja del simulador ya que debe crear un genotipo con 12 *loci* y posteriormente ser capaz de interpretarlo para saber qué capa debe mostrar.

Para ello, el generador crea un genotipo alelo a alelo. Posteriormente, mediante un algoritmo matemático, corrige dicho genotipo mediante una búsqueda desde genes epistáticos dominantes hasta genes dominantes hipostáticos.

Inicialmente busca las combinaciones letales, posteriormente busca albinos, apaloosa, overos, tobianos, ruanos y tordos por ese orden. Si encuentra una combinación de las anteriores, frena sin llegar a buscar las demás y devuelve esa respuesta. Si no encuentra ninguna, entra a corregir las interacciones entre E y A para ver si el animal es alazán, cremello o isabelo. En caso de no serlo, valorará si es castaño, perlino o bayo. Tras esto, descartará que el individuo sea bocifuego. Una vez excluidas el resto de capas, determinará si es crema cenizo, negro cenizo y por último negro.

El generador de genotipos debe ir creando los genes aleatoriamente alelo a alelo, sin embargo, hay que tener cuidado con las proporciones. Si se hace aleatorio puro, un 50% de los individuos tendrá un alelo W, por lo que será albino, y de ellos un 50% tendrá también el otro alelo W, por lo que directamente será una combinación letal. Esto sucede con todos los individuos con genes epistáticos dominantes. Para evitarlo, se creó un mecanismo de control que corrige el genotipo creado. Si detecta una de estas combinaciones pone un contador a 1. La siguiente vez que se cree un genotipo, si ve que el contador no es 0, verificará ese *locus* en concreto convirtiendo ambos alelos en recesivos y repetirá la acción durante 4 creaciones de genotipo. Una vez el contador llegue a 5 lo convertirá en 0 y volverá a quedar a la espera. De ese modo se asegura que como máximo solo uno de cada cinco individuos muestra esas combinaciones. De no realizar esta corrección, el 75% de los individuos sería albino o una combinación letal del gen White, si añadimos que un 25% sería una combinación letal del gen overo y otro 25% sería una combinación letal del gen ruano (siendo las tres probabilidades independientes entre sí), albinos y combinaciones letales cubrirían la práctica totalidad de los individuos creados, por lo que hay que controlarlo de algún modo.

Por otro lado, se creó otro módulo encargado de identificar el fenotipo transmitido por el corrector de genotipos, y mostrar una imagen en pantalla de dicha capa.

6.3.6 Recogida de material multimedia y documentación de casos. Normalización y edición del material recogido

Se recogieron imágenes de caballos con las capas significativas del PRE que se incluirían inicialmente en la aplicación (alazán, negro, castaño y tordo) mediante una cámara de fotografía digital Canon G11. Dichas fotografías se recogieron en la Yeguada El Bayo en Yéqueda, provincia de Huesca.

La recogida de estas imágenes se realizó con la ayuda de los proyectos de innovación docente PESUZ_09_5_474 y PESUZ_10_5_391 detallados en los anexos.

Una vez recogidas las imágenes, se editaron para formar archivos con unas dimensiones de 324 por 318 píxeles en la cual la imagen del animal mostrado se centra y se ajustaron las curvas de color para optimizar la visualización de la capa.

Inicialmente se creó una tabla en la base de datos para almacenar cada imagen por separado y conforme se fueron editando se introdujeron en la base de datos con la información de la capa, el nombre del archivo y si era una foto o un esquema.

En una revisión posterior de la aplicación, este sistema se modificó para poder eliminar accesos a la base de datos. Para ello, a cada capa se le asignó un número único en la base de datos, posteriormente se asignó el número “[Número de capa]00” al esquema inicial de la capa y

posteriormente de forma incremental los archivos se nombraron "[Número de capa][Número de imagen].jpg". El número de imagen 1 se reservó para los esquemas de las capas, dejando todos los demás para fotografías de animales.

Se generaron también las imágenes que servirán de fondo en caso de acierto y fallo en los ejercicios, así como la imagen principal de presentación y los fondos de las distintas páginas.

6.3.7 **Prueba y verificación de la aplicación**

Una vez implementada la aplicación, se inspeccionó el código buscando errores y se verificó que todos los módulos funcionaban como se esperaba. Posteriormente se realizó una prueba del software (*beta-testing*) con los alumnos internos de caballos del HVUZ.

Una vez finalizada la búsqueda de errores, se introdujo desde 2009 como práctica seminario en la asignatura de Genética. En un seminario se explica a los asistentes el funcionamiento de la herencia de las capas en caballos, y posteriormente se les entrega nombre de usuario y contraseña y se les solicita que en caso de encontrar algún error lo comuniquen mediante correo electrónico.

6.4 Resultados

La aplicación finalizada puede encontrarse en la siguiente dirección:

URL: http://www.unizar.es/simuladores/

Este simulador se ha insertado en la docencia de grado para que sea utilizado por los alumnos. Inicialmente se les muestra en un seminario sobre el control genético de las capas en el PRE y posteriormente pueden utilizarlo de forma autónoma desde su casa.

En el momento de la muestra en los seminarios siempre ha suscitado gran interés por parte de los alumnos, aunque no se les ha propuesto una encuesta de valoración como en el caso anterior.

Derivados de las distintas fases de diseño, desarrollo e implementación de esta herramienta, se han obtenido una serie de resultados que se detallan a continuación:

6.4.1 Capa de negocio

Tras la primera fase de análisis y diseño, se elaboró un DFD que permitía ver las opciones que tendría disponibles el usuario, así como avanzar en futuras fases de diseño determinando los módulos necesarios, las interfaces de conexión entre ellos, así como la estructura necesaria para la base de datos (Figura 6.9).

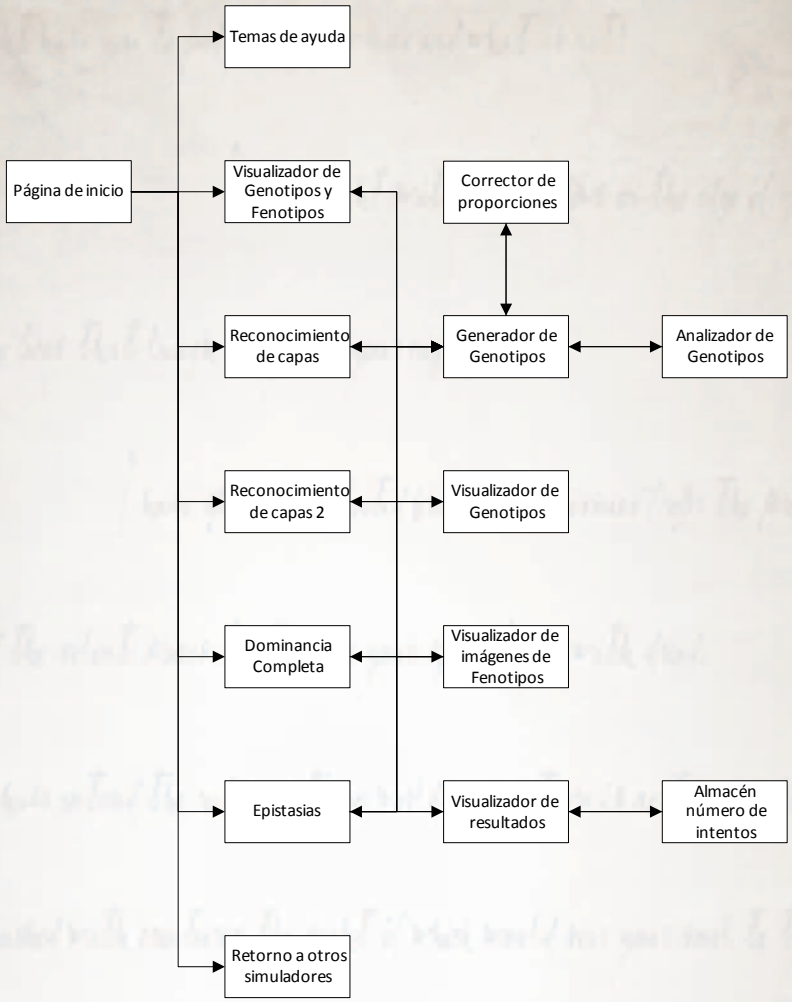


Figura 6.9: DFD del Simulador de Herencia Mendeliana

6.4.2 **Capa de datos**

En la fase de diseño de la capa de datos, se generaron los DER en los cuales se ejemplifica de forma gráfica la relación entre los diferentes campos de la base de datos (Figura 6.10).

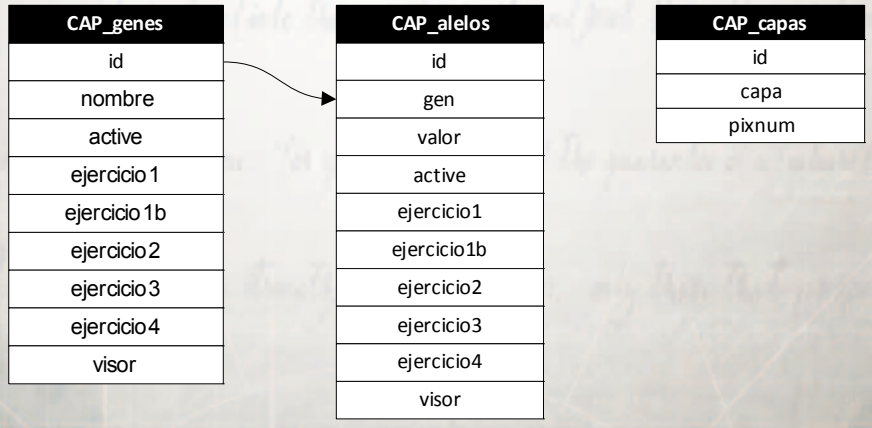


Figura 6.10: DER del Simulador de Herencia Mendeliana

6.4.3 **Capa GUI**

Por último y con la capa de negocio y la capa de datos diseñadas, se procedió al diseño, desarrollo e implementación de la GUI cuyo resultado se detalla a continuación:

Figura 6.11: Pantalla de presentación del Simulador de Herencia Mendeliana

El usuario accede a la pantalla de presentación desde la cual a través del menú situado a la izquierda puede acceder a los temas de ayuda, a los distintos ejercicios o volver al menú principal (Figura 6.11).

Figura 6.12: Temas de ayuda

En la sección de ayuda, el usuario tiene a su alcance los tres documentos de ayuda previamente descritos (Figura 6.12):

- Clasificación y reconocimiento de las capas en caballos
- Ampliación del análisis mendeliano
- Herencia de las capas en caballos

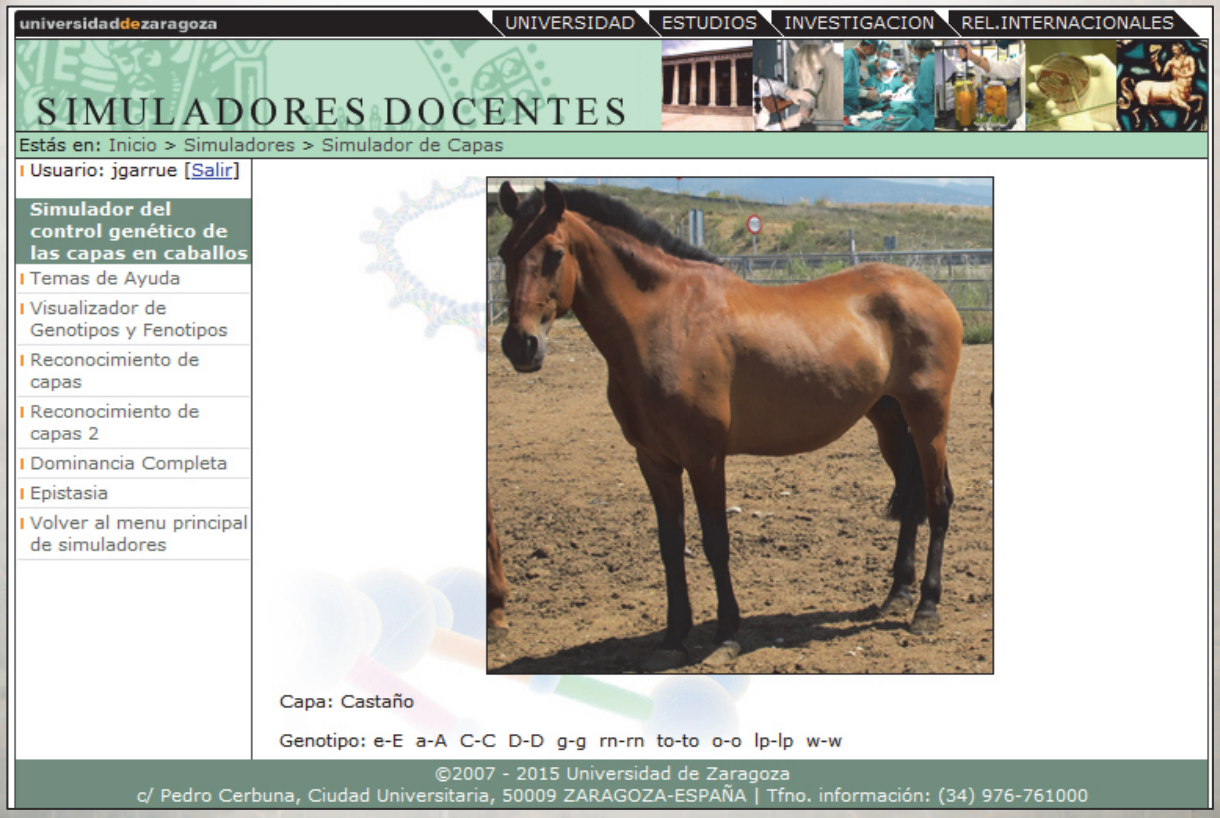


Figura 6.13: Visualizador de genotipos y fenotipos

El “Visualizador de Genotipos y Fenotipos” es un módulo de acceso restringido al profesorado que permite verificar el funcionamiento del generador de genotipos y el del analizador de los mismos. El módulo genera un genotipo y lo analiza mostrando el genotipo, la capa correspondiente y una imagen de la misma (Figura 6.13).

Figura 6.14: Ejercicio 1.1, Reconocimiento de Capas 1

Posteriormente, en el ejercicio “Reconocimiento de capas” el sistema muestra una imagen de un caballo y ofrece al usuario cuatro posibilidades para identificar la capa (Figura 6.14).

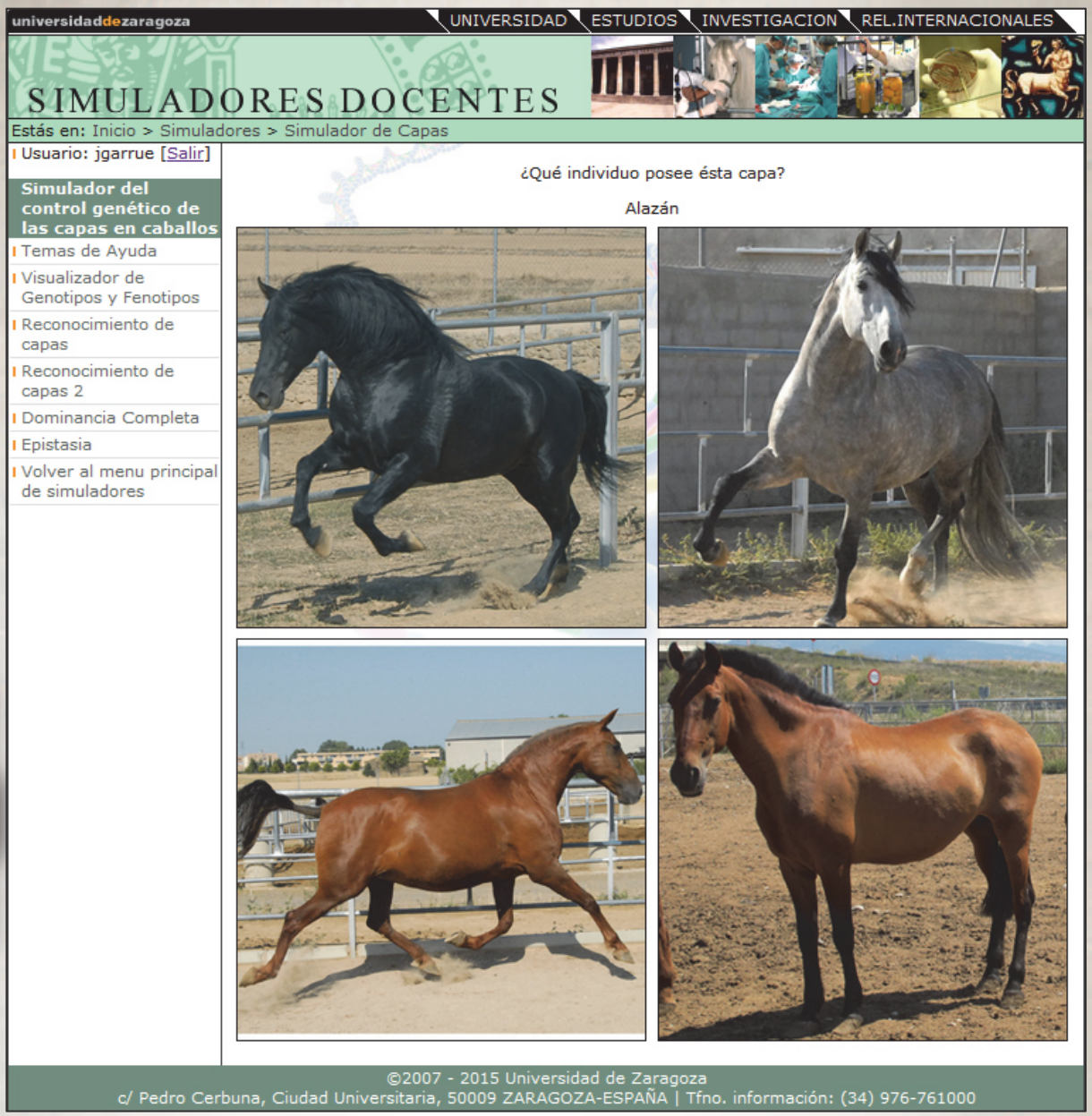


Figura 6.15: Ejercicio 1.2, Reconocimiento de Capas 2

En Reconocimiento de Capas 2 el sistema muestra el nombre de una capa en la parte superior y cuatro imágenes entre las cuales el usuario tendrá que elegir aquella que se corresponde con el nombre (Figura 6.15).

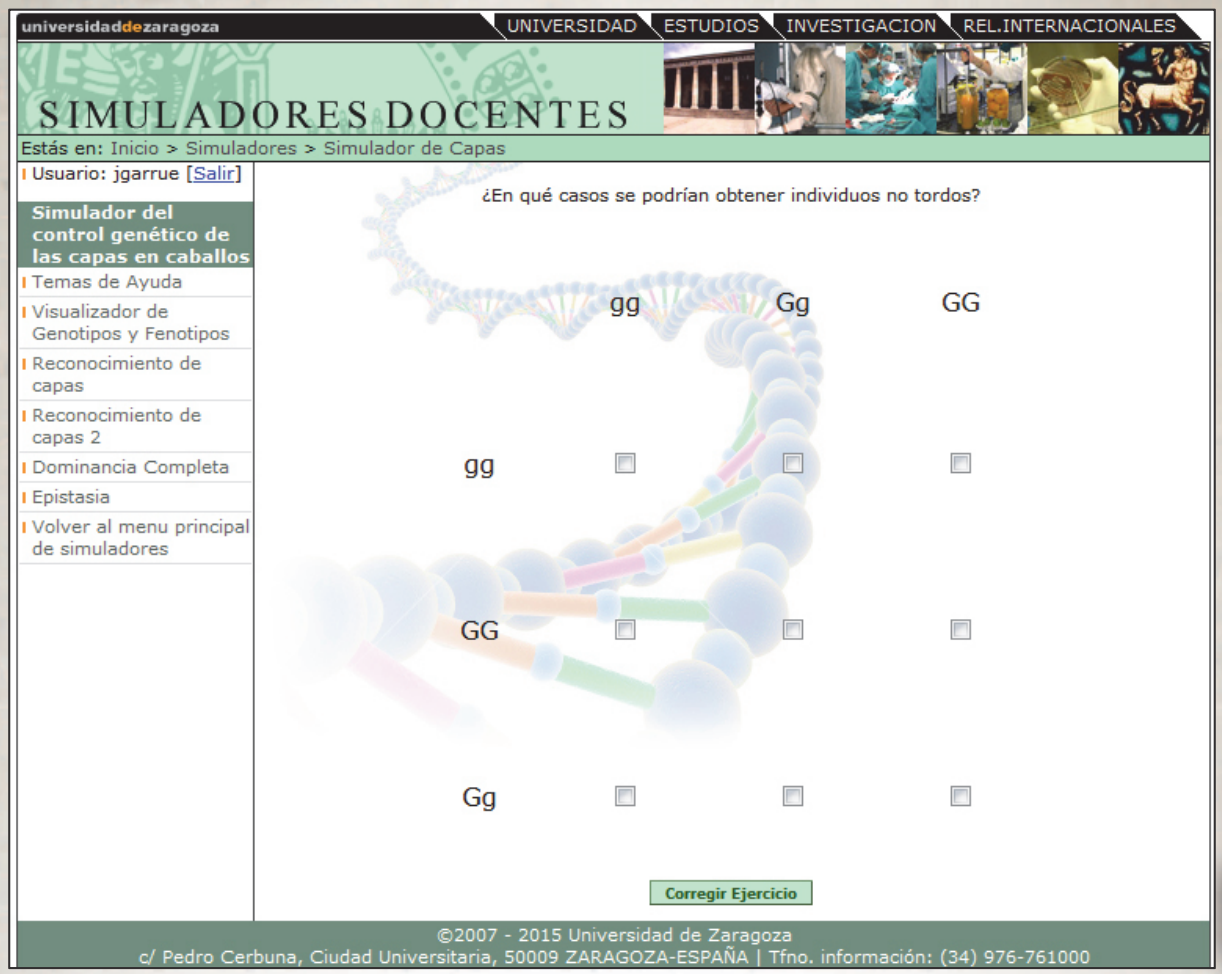


Figura 6.16: Ejercicio 2.1, Ejercicio de Dominancia Completa

Para evaluar la comprensión del concepto de Dominancia, la aplicación muestra un Cuadro de Punnett con los posibles genotipos del gen Grey, en el que el usuario deberá marcar en qué casos se obtendrán individuos que no tengan la capa tordo (Figura 6.16).

Figura 6.17: Ejercicio 2.2, Ejercicio de Epistasia

Para evaluar la aprehensión del concepto de Epistasia el sistema muestra un ejercicio en el cual se presentan tres imágenes de tres individuos diferentes y cuatro posibles genotipos. Este ejercicio busca que el usuario sea consciente de la existencia de Epistasias dominantes, como la correspondiente a la capa torda, y Epistasias recesivas, como la correspondiente a la capa alazana (Figura 6.17).

Figura 6.18: Respuesta Incorrecta

Cuando el usuario comete un error a la hora de corregir un ejercicio, el sistema muestra una pantalla en tonos rojizos con la leyenda “no es correcto, vuelve a intentarlo…” y el número de intentos realizado hasta el momento (Figura 6.18).

Figura 6.19: Respuesta Correcta

En caso de acierto, la aplicación muestra una pantalla en tonos verdes y azules donde muestra la leyenda "¡Correcto!" así como el número de intentos requeridos para acabar el ejercicio correctamente (Figura 6.19).

6.5 Análisis de debilidades del sistema

En primer lugar y al igual que pasa con la aplicación anterior, el diseño de la GUI se encuentra desfasado y debería ser sustituido. A día de hoy, tras 8 años de funcionamiento, ha cambiado mucho el universo de las aplicaciones web permitiendo interfaces más dinámicas, vistosas, útiles y ligeras a la vez.

El código debería limpiarse, ya que la estructura sobre la que la GUI estaba implementada era una estructura basada en tablas que podría sustituirse por una estructura basada en objetos, haciendo el código más legible y ligero. Esta estrategia permitiría crear marcos dinámicos que aumenten de tamaño hasta llenar la pantalla completa con la imagen de la capa, y montar sobre esta los marcos con las preguntas y las soluciones de los ejercicios. Si bien esto implicaría aumentar la potencia de cálculo necesaria para el cliente, es un aumento de requerimientos mínimo; la GUI resultante podría ser ejecutada desde cualquier dispositivo moderno, incluso un micro-ordenador como la Rπ.

Por otra parte, en el apartado de mejoras a realizar sobre la funcionalidad actual, la aplicación, además de almacenar los ejercicios y los genotipos de los mismos, debería almacenar la imagen elegida para cada uno de ellos; de ese modo se evitaría que, simplemente recargando la pantalla, aparezcan nuevas imágenes de las capas, obligando al usuario a realizar un análisis de las seleccionadas originalmente. Por otra parte, las imágenes podrían generarse dinámicamente a partir de archivos de mayor calidad (recordemos que la resolución ha aumentado mucho en estos años, así como el ancho de banda de las comunicaciones que permite el manejo de archivos más pesados a través de la red y la visualización de imágenes más nítidas) y enviarse con un nombre "cifrado" para que el usuario no pueda deducir a partir del nombre de la imagen a qué capa corresponde.

Además, también se pueden crear nuevos ejercicios con los que desarrollar los conceptos de la herencia mendeliana que aún no se han desarrollado como la dominancia incompleta que se da en el gen Cream, o la codominancia (aunque en este caso habría que utilizar otro modelo para este ejercicio, como por ejemplo los grupos sanguíneos en el ser humano). Se pueden crear ejercicios más complejos como determinar posibles filiales con unos determinados parentales de los que no se vea el genotipo, o viceversa, visto un fenotipo determinar posibles progenitores. También se puede añadir un ejercicio en el cual a partir de un genotipo haya que definir qué fenotipos y en qué proporción pueden apreciarse, lo que será especialmente interesante cuando haya posibilidad de interacción de genes letales. También se podría poner una imagen de un fenotipo y pedirle al usuario que desarrolle qué posibles genotipos podrían dar lugar al mismo.

Para evitar la frustración del usuario a la hora de utilizar toda esta batería de ejercicios, una opción posible es bloquearlos en función del desempeño, de modo que conforme el usuario vaya mejorando sus marcas se vayan desbloqueando partes de la aplicación y los ejercicios correspondientes. Esto contribuiría enormemente a la *gamificación* de la experiencia y por lo tanto estimular el uso de la misma. Es un sistema parecido al utilizado por la plataforma online de juegos *Steam*, con niveles y medallas que requeriría una gestión individual de cada alumno.

Por último, mediante un sistema de este tipo también se podría evaluar a los usuarios y su adquisición de las competencias básicas en el campo de la herencia mendeliana. Se podrían dejar preparados ejercicios, contabilizar aciertos, o simplemente poner un cronómetro y que el usuario realice cuantos ejercicios pueda en ese tiempo. En este caso, como es evidente, habría que

ponderar los distintos ejercicios de forma que los básicos aporten poco si se acierta y penalicen mucho si se falla, y los más complejos al revés, por ejemplo.

Para finalizar, merece la pena resaltar una vez más la importancia de la adquisición de los conceptos de herencia genética en un mundo en el que la genética cada vez está más presente en la vida de todos, ya que su desconocimiento está obligando a gastar ingentes cantidades de dinero destinado a investigación en proyectos centrados en áreas que ya han sido exploradas. Por otra parte y en el desempeño de la labor del profesional veterinario, la herencia de las capas es similar en *loci* y funcionamiento en todos los mamíferos, y es una característica que puede implicar unas enormes variaciones en el valor de un individuo, por lo que el veterinario debería tener claros estos conceptos a la hora de proponer unos u otros cruces a los propietarios. Además, el color de la capa no es el único carácter sobre el que se puede influir ya que la humanidad lleva miles de años buscando "los mejores individuos", los más fuertes, los más bonitos, los más productivos, los más tranquilos y así un largo etcétera. Es importante tener muy claros estos conceptos a la hora de buscar la mejora genética de cualquier especie, bien sea desde el punto de vista del laboratorio (mediante ingeniería genética), bien sea desde el punto de vista de una explotación (también mediante ingeniería genética, pero de otro tipo y a más largo plazo).

7

Plataforma Coop-PvP de evaluación de conocimientos

Justificación

Antecedentes

Material y métodos

Resultados

Análisis de debilidades del sistema

"Si el conocimiento crea problemas, no es mediante la ignorancia como los solucionaremos"

Isaac Asimov

Imagen Original: Ibai Lemon, Flickr.

Plataforma Coop-PvP de evaluación de conocmiento

7.1 Justificación

El juego acompaña a la humanidad desde el inicio de la historia escrita, y presumiblemente desde mucho antes. El uso del juego para transmitir conocimiento es una costumbre que también se arrastra desde el principio de los tiempos y que si se recupera de forma adecuada para la enseñanza superior puede aportar muchos beneficios en un entorno en que el desapego y la sensación de falta de pertenencia son cada vez mayores.

Debemos también observar que a la hora de formar nuevos profesionales en cualquier área, hay una serie de competencias transversales de trabajo en equipo que se deben fomentar.

También hay que tener en cuenta que, aprovechando el actual nivel de desarrollo tecnológico, se pueden crear herramientas que aúnen la evaluación del alumno con un bajo rechazo del mismo a esta evaluación. Incluso que conviertan la actividad en un elemento motivador mediante un enfoque de *gamificación* de la actividad.

Para ello se plantea la realización de una plataforma multidisciplinar cooperativa-competitiva de evaluación de conocimientos en la que los usuarios puedan formar grupos desde uno hasta cuatro integrantes y puedan enfrentarse a la máquina o a otros grupos y evaluar de este modo sus conocimientos además de adquirir una serie de competencias transversales que les puedan ayudar en un futuro en el desempeño de sus funciones en el entorno laboral.

De este modo no solo se conseguirían los beneficios de la *gamificación* sino también los derivados del aprendizaje colaborativo y de las actividades competitivas. Si bien el objetivo es de una elevada complejidad, los beneficios potenciales de una plataforma de estas características pueden ser muy elevados.

7.2 Antecedentes

El paradigma de la educación está cambiando en los últimos años. Desde que a mediados de la década de 1980, cuando los centros docentes contaban con unos pocos equipos informáticos, se introdujeran los primeros videojuegos educacionales en algunas clases de Estados Unidos, los incrementos exponenciales en las capacidades multimedia de los equipos, unidas a las bajadas de los precios han hecho que la oferta de juegos para su uso en docencia sea muy superior hoy día y permita que no sean tan solo un refuerzo del *curriculum* o una recompensa para los discentes.

Los juegos complejos e inmersivos están empezando a demostrar su potencial para impulsar el *curriculum* educativo hacia una nueva trayectoria que emplea historia, estimulación, competición y colaboración para conseguir unos estándares de educación mejores y un aprendizaje más profundo. El profesorado está mostrando cada vez una mayor receptividad a la hora de *gamificar* las clases para conseguir un mayor compromiso de los alumnos, lo que está llevando a una mejora de las competencias centrales y complementarias de los mismos. Además, también se ha encontrado que en los casos en los que se realizan actividades cooperativas parece haber una mejoría también de las capacidades sociales de los discentes, cosa que no ocurre en los juegos individuales (6).

Hoy día se ha detectado además un problema generalizado en los estudiantes de los 28 países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Este consiste en un bajo compromiso educativo, con una baja participación en el aula y escasa sensación de pertenencia al grupo. Este dato es preocupante ya que se ha comprobado que el interés en la materia es un factor muy importante que influye ampliamente en los resultados de la formación de alto nivel académico (motivación intrínseca). Esta influencia se debe a varios efectos recíprocos: por un lado tras la pubertad, los alumnos comienzan a identificarse de forma más madura con determinados campos del conocimiento y con determinadas competencias. Por otro lado, el esfuerzo se concentra en determinados temas en los que se consiguen unos mayores resultados (118), en detrimento de otros que se dejan de lado.

La *gamificación* es una estrategia que puede paliar este problema como así ha sido señalado por teóricos de la educación desde hace décadas (119).

Este interés puede dividirse en dos tipos: el interés individual y el situacional. El individual hace referencia a la conexión personal del individuo con el tema, y su predisposición a dedicarse a una actividad a lo largo del tiempo. Por otro lado, el interés situacional depende del entorno y es soportado por este enteramente.

El interés individual tiene dos componentes principales: el “afecto” y la “valoración”. El afecto hace referencia a la diversión, fascinación y entusiasmo que una actividad despierta. Podemos decir que es el valor intrínseco que tiene algo para un individuo centrándonos en la diversión y el interés subjetivo. La valoración por otro lado, entraña la importancia adscrita al contenido, la actividad o el campo: si la actividad puede ayudar a la consecución de objetivos en el futuro, o a la consecución y retención de más valor por parte del individuo. Estos dos componentes afectan no solo al modo en que una actividad despierta el interés de un individuo, sino también al modo que tiene de enfrentarse a él: elevados valores de “afecto” y “valoración” suelen estar asociados a una gran optimización de recursos a la hora de enfrentarse a la actividad, mientras que un elevado afecto y una baja valoración promueven una conducta de exploración en la cual el individuo no prestará tanta atención a realizar la tarea de forma eficiente, sino que explorará

nuevas vías y estrategias cayendo de forma importante el rendimiento al llevar a cabo la tarea (120).

Un elevado interés por una tarea no solo mejora la cantidad de información retenida de una actividad, sino también la calidad del aprendizaje. En el caso de la lectura de un texto, el interés impulsa al lector a profundizar más en su contenido buscando las ideas secundarias y no quedándose solo en la lectura superficial. Sin embargo, el interés puede tener efectos secundarios que hay que tener en cuenta. Se ha visto que cuando se añaden estímulos como imágenes o notas a un texto, que son interesantes pero no aportan nada útil a la información del mismo se reduce en gran medida la información recordada por los lectores. Cuando el interés y la importancia difieren, el interés es un mejor indicador de la información que será almacenada, aunque no tenga relevancia ninguna con el tema (118).

Por otro lado, debemos tener en cuenta otros dos factores a la hora de valorar la predisposición al uso y el aprovechamiento del uso de una herramienta. En primer lugar la motivación, porque si bien el interés implica la preferencia del individuo por realizar una determinada tarea, la motivación es un proceso más amplio que también hace referencia a otras causas y que se refiere al deseo del individuo por alcanzar un fin determinado en una situación, y el mantenimiento de una conducta soportada por unas metas. Puede estar determinada por el interés, pero también por otras causas como los objetivos y las metas.

En segundo lugar, debemos tener en cuenta que mantener un esfuerzo de forma persistente en una acción desafiante y no apartarse del objetivo conlleva una parte de auto-control. Los recursos necesarios para mantener este autocontrol son finitos, acabando finalmente por agotarse y minorando la efectividad de la persecución de los objetivos. Sin embargo, esos recursos pueden recuperarse mediante diversos métodos como el descanso o la experimentación de sentimientos positivos. Se ha comprobado que la persistencia en una tarea es más larga si va precedida de una tarea interesante, lo que indicaría que los recursos personales de auto-control se han recuperado o se han gastado mínimamente. Hay que tener también en cuenta lo dicho anteriormente, que aunque la persistencia en tareas con un elevado interés sea más elevada, deben estar equiparados el afecto y la valoración de la actividad para que esta mayor persistencia radique en un mayor aprovechamiento del recurso o la tarea y no en una conducta de exploración que disminuya la eficiencia y dicho aprovechamiento. También debemos tener en cuenta que el interés por un contenido, evento o actividad se puede desarrollar, y conforme este interés aumenta también lo hace la implicación personal con el objeto de dicho interés (120).

Para luchar contra el desinterés y la sensación de falta de pertenencia en la educación, una de las estrategias es el planteamiento de actividades que supongan un reto para los discentes. Se ha visto que las actividades que suponen un reto que va aumentando conforme se desarrolla la habilidad del individuo crean un mayor compromiso en este, aumentando además su concentración, interés y entretenimiento (121). Hay que tener en cuenta que socialmente la gente está inherentemente motivada para resolver retos, ya que el éxito se valora positivamente mientras el fracaso se valora negativamente. De hecho, el reto es un predictor importante de los resultados del aprendizaje aunque se debe tener cuidado con la graduación del mismo. Un reto excesivamente elevado sobre el nivel de habilidad del individuo crea una situación de ansiedad y excitación. Aunque paradójicamente estas cualidades pueden llegar a actuar como precursores del compromiso y el aprendizaje, también pueden desarrollar una sensación de percibida incompetencia que redunde en una reticencia a enfrentarse a nuevos retos que podrían aumentar las competencias del individuo (119).

Un campo en el que tradicionalmente se han empleado los retos graduales para mantener el interés del individuo es el de los videojuegos. En este campo, se ha visto que los videojuegos consiguen crear una situación de aprendizaje en que el individuo puede mantener el interés en la actividad durante horas (121). Inicialmente los retos en los videojuegos tienden a ser fáciles y los jugadores suelen contar con el apoyo de un tutorial, para posteriormente ir aumentando en dificultad mientras las habilidades de los jugadores se desarrollan en un proceso de hipotetización, prueba y reflexión en un entorno simulado. Esta experiencia ha sido denominada por los desarrolladores de software como "aprendizaje por capas" (*Layered learning*) (119).

El aprendizaje por capas busca solucionar los problemas de forma jerárquica. El problema principal se identifica y se divide en sub-problemas o capas, las cuales son de menor categoría al problema principal. Cada capa el individuo utiliza los conceptos adquiridos en capas anteriores para poder solucionar el problema planteado. Así, mediante un sistema reiterativo se van solucionando problemas y adquiriendo competencias hasta conseguir resolver el problema principal (122).

La aplicación de elementos del diseño de juegos a contextos alejados de este campo corresponde al concepto de *gamificación*, al que ya hemos hecho referencia anteriormente. Esta estrategia busca extraer los aspectos positivos del uso del juego como la retroalimentación inmediata, el aprendizaje productivo, el aprendizaje por capas, el aprendizaje auto-regulado y la colaboración por equipos evitando los aspectos negativos encontrados como el contenido no educativo, la evaluación del aprendizaje o la inexistencia de profesorado. Busca conseguir de este modo una mejor experiencia de usuario así como un mayor compromiso con el sistema (121).

Hay que tener en cuenta que con el concepto de *gamificación* no se está hablando de docencia *on-line* sino que es un sistema mucho más complejo. No se busca adaptar el modelo de transmisión a uno basado en versiones PDF de las clases. Esto, pedagógicamente, no acaba traduciéndose en un aprendizaje independiente ya que la creación, organización y selección de material atractivo para aprendizaje electrónico acaba causando tanta dependencia de los autores como los métodos tradicionales, si no más, por lo que no se logra el fin último de optimizar en la medida de lo posible las horas de atención del personal (4). El énfasis debe situarse en un desarrollo pedagógico firme y no en la utilización de la tecnología como fin en sí mismo. El aprendizaje *on-line* no debería transformar al profesorado en un personal de asistencia técnica, sino facilitarles la creación de entornos de enseñanza y aprendizaje en los que los discentes se conviertan en profesionales abiertos y críticos (123). Además, si bien algunos estudios apuntaban que el aprendizaje sobre un medio digital impedía el control metacognitivo y disminuía el resultado del aprendizaje, los últimos estudios concluyen que cuando el diseño del sistema es adecuado, no hay diferencias sistemáticas entre un sistema digital y uno físico a niveles metacognitivos, por lo que las acciones de los creadores de contenido debe ir enfocado a adaptar el contenido al nuevo formato pero no a la experiencia metacognitiva *per se* para equiparar los resultados del sistema digital al no digital (124).

Como hemos visto, la *gamificación* no consiste meramente en el uso de la red y la tecnología sino en la transposición de conceptos de los juegos que han sido herramientas de entretenimiento, creación de relaciones y entrenamiento desde el inicio de la historia escrita. Los juegos están firmemente grabados en la cultura humana, y la *gamificación* no es un hecho novedoso, sino que a pesar de su resurgimiento gracias a la tecnología, el seguimiento de datos personales, o la prevalencia de los videojuegos, tiene su origen en las campañas de marketing basadas en puntos y recompensas, en los grados y rangos educativos o en las recompensas a la productividad (125).

Se debe tener cuidado de no confundir la *gamificación* con los juegos educativos, en los cuales las típicas lecciones de las clases se portan a un formato de juego. La *gamificación* busca utilizar las mecánicas del juego para otorgar a los alumnos herramientas de exploración y permitirles moverse por ese espacio con unos mecanismos de retroalimentación sobre la actividad que están llevando a cabo. Estas experiencias suelen poseer tres aspectos: un objetivo que debe cumplir el discente, los obstáculos que supongan un reto y un entorno de colaboración o de competición (10). Se debe tener cuidado en no simplificar en exceso la experiencia del juego y reducirlo todo a un sistema de puntos, clasificaciones y medallas ya que mediante este enfoque se está aplicando la parte menos esencial de los juegos y convirtiéndola en el eje central de la experiencia (125). Se ha constatado que el efecto de esos aspectos en concreto (la presencia de puntos y medallas) en un sistema de preguntas y respuestas han encontrado que, si bien la presencia de las medallas suponían un efecto motivacional positivo extrínseco, no aumentaban el interés por los contenidos que los propios alumnos interpretaban como menos útiles, de forma que si bien se observó una gran cantidad de usuarios respondiendo a las preguntas que planteaba el sistema (práctica que los propios alumnos interpretaban como auténtica y útil, y que suponían una motivación intrínseca *per se*) no se observó una mayor autoría de preguntas (hecho que suponía un mayor esfuerzo que responder preguntas pregeneradas) por lo que al parecer la actividad *gamificada* debe tener algún tipo de valor intrínseco en sí misma para conseguir un mayor compromiso del individuo (126). Un sistema de medallas sin otro aliciente no supone un compromiso ni interés suficiente y no tiene por qué incrementar la frecuencia o calidad de uso de una herramienta (127).

Así pues, la *gamificación* puede suponer un aumento de la motivación y el compromiso del individuo, pero conseguir ese efecto no es un hecho sencillo y trivial y requiere un diseño y una implementación de la experiencia totalmente motivadora para los usuarios (121). El diseño además es importante porque dirigirá el efecto conseguido con el sistema. Si este no es adecuado se puede conseguir que los usuarios desarrollen mucho las habilidades que les otorgan las recompensas del sistema *gamificado,* pero no adquieran los conocimientos buscados (128).

Se debe tener en cuenta que el modelo de aceptación de tecnología sugiere que en una aplicación de tipo funcional el uso está motivado por la utilidad percibida mientras que en un sistema de tipo lúdico se encuentra motivado por la jugabilidad percibida. En el caso de una aplicación *gamificada*, el interés del usuario se encuentra en un punto intermedio o aportando beneficios de ambos sistemas alternativamente por lo que la aceptación de la misma se encuentra fuertemente influenciada por ambos patrones, funcional y lúdico. Se ha visto también que cada patrón se evalúa de una forma diferente por el usuario. La parte más afectiva y no calculadora de la diversión tiene una relación directa con las ganas de utilizar el servicio, mientras que la parte más cognitiva busca la utilidad y determina la actitud del individuo hacia la aplicación. En cualquier caso, la percepción del individuo de la aplicación (lúdica o funcional) determina también las partes que son más importantes en la actitud de este hacia la misma. Si el individuo ve la aplicación como algo funcional, entonces la jugabilidad percibida puede no ser importante y no variar la actitud ni las intenciones significativamente (129).

Otro factor muy importante que puede ser complementario a la *gamificación* es el componente social de las aplicaciones. Se ha visto que factores sociales, como la eficacia personal y la aceptación de la comunidad y de los pares, recompensan a los usuarios y los motivan en una implicación continuada (125). Incluso aplicaciones *gamificadas* a las que se les han añadido componentes de redes sociales mostraban unos mejores resultados que aquellos que tenían la aplicación *gamificada* a su alcance pero sin las partes propias de una red social (128). Se ha comprobado que el trabajo en grupos pequeños es un componente clave para el aprendizaje académico. El compromiso adquirido en interacciones con pares, el pensamiento colaborativo y

la construcción cooperativa de conocimiento llevan a una serie de beneficios cognitivos y son, por tanto, herramientas efectivas para la promoción del aprendizaje a un nivel superior. Por otro lado, hay evidencia de que la participación en actividades de grupos pequeños puede mejorar el rendimiento de los discentes (130).

Existen tres grandes motivos por los que es recomendable el aprendizaje en grupo. En primer lugar los individuos pueden aprender de sus pares y se benefician de actividades que les obligan a articular y probar sus conocimientos, lo que les da la oportunidad de clarificar y refinar la comprensión mediante la discusión con ellos. En segundo lugar, puede ayudar a desarrollar habilidades que posteriormente se demanden en el entorno laboral. Y por último, el trabajo en grupo puede reducir el trabajo de verificación, graduación y retroalimentación en el proceso de aprendizaje, si el grupo se evalúa (131).

En las áreas de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM por sus siglas en inglés) se ha demostrado hace ya tiempo que las actividades en grupos pequeños promueven una actitud más favorable hacia el aprendizaje, un aumento de la persistencia y en última instancia, un mayor éxito académico (132). En contextos de búsqueda de soluciones de problemas complejos, la colaboración se basa en la diversidad cognitiva, la síntesis de comprensión y puntos de vista para encontrar una solución más allá de las capacidades del individuo (133). Hay una serie de profesiones donde el trabajo en grupo es habitual, especialmente aquellas que implican diseños y desarrollos (132). De hecho, en el Libro Blanco del Título de Grado en Veterinaria se especifica entre las Competencias Académicas que debería adquirir todo alumno el "Trabajar en equipo, uni o multidisciplinar, y manifestar respeto, valoración y sensibilidad ante el trabajo de los demás" apareciendo como la segunda en importancia (1). En el entorno laboral real, además, hay ocasiones en que no se dispone de toda la información necesaria para la resolución de un problema. Se le llama competencia profesional a la habilidad de resolver problemas en un contexto de incertidumbre y conocimiento profesional al necesario para razonar con éxito en esos contextos. Para alcanzar esas soluciones en esas situaciones es muy importante el desarrollo del pensamiento crítico y de las capacidades de colaboración. La conjunción de ambas capacidades permite al individuo una estimación crítica de la situación y la síntesis de perspectivas alternativas. Estas alternativas deben luego ponerse en común con el grupo de trabajo para, entre todos, alcanzar la solución final. Las actividades educacionales deberían promover las competencias individuales necesarias para participar en el futuro en este tipo de procesos (133) ya que el trabajo en grupo va a ser probablemente de gran importancia en el futuro, tanto cara a cara como en línea (132) y de este modo los discentes experimenten dinámicas de grupo realistas que representen el proceso colaborativo que encontrarán en un entorno laboral (133).

Por estos motivos, el diseño y desarrollo de un entorno educativo cooperativo adecuado debería observar los siguientes puntos (133):

- Promover la interdependencia retando a los alumnos mediante problemas complejos que van a requerir confiar en los conocimientos y la participación de todos los miembros.
- Requerir la responsabilidad individual estableciendo expectativas para cada miembro.
- Establecer un sistema y unas guías de retroalimentación por pares.
- Modelar y facilitar el uso de habilidades colaborativas como la construcción de confianza, comunicación y manejo de conflictos.

- Hacer corresponsables a los miembros del grupo de crear objetivos grupales, verificando periódicamente que lo están haciendo bien como equipo e identificando cambios que les puedan ayudar a funcionar de manera más eficiente en el futuro.

También se debe tener en cuenta que un sistema cooperativo no está exento de problemas. Se ha comprobado además, que las dificultades derivadas del trabajo en grupo de forma telemática tienden a ser más difíciles de resolver que aquellas que se presentan en grupos que trabajan físicamente juntos. Aunque los temas de queja presentes en ambos casos tienden a ser los mismos (el grupo en sí mismo, la comunicación e individuos concretos del grupo), la manifestación de éstos suelen ser mayores en grupos en línea (132).

Una parte importante del trabajo en grupo y del aprendizaje en general también es la evaluación del grupo y de los individuos del mismo. Hay que tener en cuenta que son dos hechos claramente diferenciados y que, si bien es más fácil evaluar el trabajo del grupo que el del individuo, posteriormente a la hora del encaje en el medio laboral la contratación suele ser por individuos y no por grupos, por lo que es interesante que los discentes puedan evaluar realmente sus conocimientos y competencias. Sin embargo, hay que tener cuidado porque la calificación de los individuos de un grupo por separado muestra varios factores de controversia que hay que tener en cuenta (131):

- Primero, los individuos pueden mostrar preocupación porque la evaluación no mida realmente su esfuerzo.

- Segundo, la evaluación individual es necesaria ya que los títulos y las calificaciones son individuales.

- Tercero, la evaluación del trabajo del grupo exige al docente que deje claros desde el primer momento cuáles son los objetivos y cómo deben satisfacerse los mismos.

Hay varias formas de evaluar los grupos. Una opción de ellas puede ser la realización de competiciones entre varios equipos en la cual los miembros de los equipos van alternando. De este modo y mediante un análisis estadístico del rendimiento de los equipos en los diferentes encuentros se puede llegar a extrapolar cuál es el papel de un individuo, de forma que si siempre se sitúa en equipos que obtengan una buena valoración su aportación tiene que ser buena (131).

A modo de conclusión, cabe recordar que en la actual situación socioeconómica existe una exigencia cada vez mayor a los graduados que egresan de los centros desde el día uno en un mundo con una cantidad cada vez mayor de conocimiento científico, exigencias en un entorno cada vez más agresivo que dan lugar además a la falsa sensación de que los profesionales están cada vez peor formados (4). Entre las diversas competencias que los egresados deben adquirir están no solo las competencias propias de la profesión, sino que deben de tenerse en cuenta también una serie de competencias transversales que permitan el desarrollo de otras habilidades como el trabajo en equipo, el pensamiento crítico, la receptividad a nuevas ideas o la capacidad de análisis.

Teniendo en cuenta la tendencia a la falta de motivación que hay entre los discentes de los países miembros de la OCDE, una buena forma de conseguir adquirir esas competencias transversales y de motivar a los mismos es el uso de sistemas de aprendizaje colaborativo y de entornos *gamificados* de aprendizaje basados en TIC.

Con una correcta implantación de estos sistemas, se puede conseguir tanto un aprendizaje de mayor calidad, como un desarrollo del pensamiento crítico y una motivación del alumno. Pero

un factor que no se debe olvidar en estos casos es el de la evaluación de los conocimientos del alumno. El trabajo en grupo no debe convertirse en una forma de enmascarar los conocimientos y las capacidades del individuo ya que, si el objetivo es la creación de profesionales cada vez más y mejor preparados éstos deben ser en todo momento conscientes de sus capacidades y posibilidades para encarar el momento en que accedan al mercado profesional de la mejor forma posible garantizando también a la sociedad los mejores profesionales que la Universidad pueda proveer.

7.3 Material y métodos

7.3.1 Sistematización del proceso para su implementación como herramienta web mediante el uso de DFD

El primer paso, como siempre en el diseño de software, consistió en la evaluación de las necesidades, la creación de DFD y el análisis de requerimientos.

Debido al entorno académico y científico de grado universitario en que inicialmente se planeaba utilizar la aplicación, se decidió dividirla en dos partes. Por un lado, se planteó la creación de un sistema de almacenamiento de preguntas que a su vez dispongan de un sistema de revisión por pares que, al igual que ocurre en las revistas científicas, asegure la fiabilidad y corrección de las mismas. Por otro lado, se planteó el desarrollo de un sistema de juego que permita la realización de las partidas entre uno o varios equipos (desde uno a cuatro jugadores), y la gestión de dichos equipos.

7.3.1.1 *Gestión de preguntas*

- Nueva Pregunta: Se introduce el enunciado de la pregunta en dos idiomas (inicialmente castellano e inglés), cuatro respuestas, respuesta correcta, dificultad de la pregunta, elemento multimedia (en caso de querer añadir una imagen o un vídeo), referencia (si se quiere añadir una referencia bibliográfica del tema) y comentarios. Una vez se añada una pregunta, esta aparecerá con estatus "Pendiente de Revisar", y tendrá que ser revisada y categorizada para poder aparecer como aceptada y ser utilizable.

- Modificar o categorizar pregunta: Se muestran las preguntas pendientes de categorizar por parte de un revisor. También permite al autor de una pregunta modificar el contenido de sus preguntas para adecuarlas a las recomendaciones de los revisores.

- Pendientes de revisar: Se muestran las preguntas propuestas que deben ser revisadas y marcadas como tales antes de que el sistema pueda utilizarlas en una partida. Solo los revisores tienen acceso a esta sección y solo ellos pueden ver qué preguntas están pendientes de revisar.

- Estadísticas por categorías: Permite el acceso a la cantidad de preguntas, filtradas por categoría y por estatus de la pregunta.

- Estadísticas por usuarios: Permite el acceso a la cantidad de preguntas, filtradas por categoría y usuario que las ha propuesto.

- Preguntas aceptadas: Permite el acceso a las preguntas mostrando su referencia, enunciado y categorías. Se pueden filtrar en función de las distintas categorías.

7.3.1.2 *Gestión de equipos*

- Nuevo Equipo: Permite crear un equipo del cual se especifica el nombre, los nombres de los componentes y la institución a la que pertenecen.

- Listado de Equipos: Permite visualizar los equipos existentes en el sistema, así como modificar aquellos que pertenezcan a la institución del usuario.

7.3.1.3 *Gestión de partidas*

- Nueva partida: Permite dar de alta una partida y dejarla preparada para un futuro. Debe identificar la partida mediante el nombre de la misma, fecha aproximada de celebración, idioma, dificultades mínima y máxima, tiempo permitido de respuesta y equipos participantes.

- Listado de partidas: Muestra el listado total de partidas celebradas usando el sistema. Se encuentran ordenadas por fecha y muestran el organizador, los niveles de dificultad permitidos y los equipos participantes con sus miembros. En la zona de partidas jugadas se muestra además quién fue el ganador de la partida.

7.3.1.4 *Ejecución de partidas*

En este caso, la interfaz gráfica debe tener más peso que en la zona de gestión y ser más amigable. A su vez los controles del usuario sobre la misma son menos diversos, ya que una vez comienza la partida no hay mucho que controlar.

Inicialmente se llegaría a una pantalla de presentación que identifica claramente a los equipos participantes y sus instituciones así como al moderador de la partida.

Tras la presentación, se llegaría a la pantalla en la cual se gestionan las puntuaciones y el siguiente participante y se llega a la elección tema. La aplicación debe tener en cuenta la puntuación de los participantes en todo momento ya que en el momento de la elección de tema debe avisar si se puede completar una de las categorías.

Al realizar las preguntas, se permitiría un cierto tiempo para responder que viene determinado por la configuración de la partida. Pasado este tiempo o tras una respuesta errónea se ofrecería la pregunta al siguiente participante. Esta pantalla debería estar preparada para mostrar texto, imágenes o vídeo, en función de la pregunta preparada por el autor.

Tras este paso, la aplicación volvería a mostrar la pantalla de puntuación y repetiría el proceso hasta que uno de los participantes logre completar todas las categorías de preguntas. En ese momento se declararía a ese participante ganador y finalizaría la partida.

7.3.2 **Análisis del material necesario para documentar los casos y sistematización de la nomenclatura de los archivos**

Al contrario que en casos anteriores, no era necesaria la recogida de gran cantidad de material por parte de los diseñadores de la aplicación. En este caso se eligieron profesionales veterinarios de reconocido prestigio en su campo para formular las preguntas así como revisar las preguntas del resto de compañeros.

Además no se planteó una normalización de los archivos, ya que al generar las preguntas se subirá el contenido multimedia y la base de datos deberá almacenar el nombre del archivo que se haya subido al sistema junto con la pregunta.

También fué necesario descargar iconografía suficiente para ilustrar las diferentes categorías presentes en la aplicación. Es importante que dicha iconografía sea de uso libre y sin *copyright*.

7.3.3 Análisis y elección del método de autoevaluación

La aplicación entera se concibió como una plataforma de autoevaluación mediante un sistema cooperativo-competitivo entre grupos.

La evaluación de los conocimientos del usuario es autónoma, ya que en el equipo no se diferencia entre quién responde y quién no y deberá ser cada uno de los miembros el que extrapole esta información.

La aplicación declarará ganador a aquel equipo que antes alcance los puntos determinados en todas las categorías. Estos puntos serán 6 inicialmente, pudiéndose modificar posteriormente en la base de datos. Cada pregunta está valorada de 1 a 3 puntos en función de su dificultad.

En el momento en que el primer equipo alcance la cantidad de puntos requerida en todas las categorías la partida finalizará.

7.3.4 Diseño de la aplicación

Al igual que en los otros casos se optó por una arquitectura N-*layer* N-*tier* con las capas GUI, negocio y datos diferenciadas y ejecutadas en diferentes equipos. El ordenador del usuario (en este caso y tal y como está diseñada la aplicación, el del moderador) sería el encargado de interpretar la GUI mediante el uso de un cliente ligero.

Debido a la complejidad que se alcanzó con la GUI en este caso, se utilizó HTML5 con los estilos programados en hojas de estilos en cascada con formato CSS basadas en el estándar CSS3. De este modo y como en otros casos se pudo separar la imagen que se muestra en cada pantalla de cómo y cuándo se muestra. Debido también a la complejidad de lo que se buscó (una partida de un juego con una interfaz dinámica con animaciones) no se podía tener en cuenta la retrocompatibilidad hasta Microsoft Internet Explorer 6. Tendría que limitarse a Microsoft Internet Explorer 9, Mozilla Firefox y Google Chrome para asegurar que elementos como contadores de tiempo, barras de puntuación y otros se muestran adecuadamente. Por ello la resolución útil mínima de pantalla se fijó en 1024 por 768 píxeles.

Se prepararon dos GUI diferentes. Por un lado se preparó una GUI funcional y sencilla para la gestión de usuarios, preguntas y partidas. Esta GUI ofrece poca información y es puramente administrativa. Por otro lado se preparó la GUI de la partida donde sí se hace uso de los objetos y etiquetas de HTML5 preparados para la gestión de vídeos y audio. Teniendo en cuenta que el estándar anteriormente citado no puede gestionar cualquier tipo de archivo, se especificó a los autores de las preguntas qué tipos de archivo soporta el sistema para asegurar una máxima compatibilidad.

La capa de datos tuvo que dividirse en dos partes: los archivos que los autores hubieran querido enviar para ilustrar sus preguntas se almacenaron en un subdirectorio dentro del directorio de la aplicación, mientras que el resto de la información se almacenó en una base de datos MySQL. En esta base de datos se definieron las categorías que podían tener las preguntas, las categorías a las que pertenecía cada pregunta, los equipos, las instituciones, las preguntas, las partidas, los usuarios y el registro de cada partida.

En este registro se almacenan todas las preguntas que se realizan en cada partida, a quién se le plantea, qué responde, qué responde el rebote si lo hubiere, puntuación y fecha y hora. Este registro se preparó para almacenar el estado de la partida en cualquier momento. De esa manera,

si hubiera cualquier problema técnico que obligara a detener el juego la partida podría retomarse posteriormente sin ningún problema ya que estaría almacenado su estatus.

La capa de negocio es la encargada de realizar la interconexión entre la GUI y la capa de datos. En este caso era una capa más compleja que en casos anteriores ya que, para minimizar los accesos a la base de datos, se buscó almacenar el registro de la partida también en forma de variables en la capa de negocio. Al tener todo almacenado en la capa de negocio los accesos a la base de datos son mínimos y se realizará solo uno por pregunta para almacenar en el registro el resultado de la última pregunta.

Se almacenan en la capa de negocio en tiempo real las preguntas realizadas para asegurar que no se repiten y la puntuación de cada equipo en cada categoría para llevar el recuento de las mismas y poder calcular el momento en que uno de los equipos gane la partida. Cuando se da a elegir tema al equipo jugador se seleccionan las preguntas de cada uno de los dos temas ofrecidos. Por este motivo, si el equipo jugador puede dejar una categoría completada al responder a la pregunta seleccionada, se señalará de forma evidente en ese momento.

Otra función realizada por la capa de negocio durante las partidas es ajustar la dificultad de las preguntas en tiempo real en función de sus porcentajes de fallos y aciertos de esas preguntas en anteriores partidas. Si una pregunta se ha utilizado en más de diez ocasiones y se falla más de un 66% de las veces, el sistema le otorgaría una nueva dificultad por encima de la inicial. Ocurriría lo mismo si se acierta más de ese mismo 66%, en cuyo caso el sistema rebajaría su dificultad automáticamente.

7.3.5 Recogida de material multimedia y documentación de casos. Normalización y edición del material recogido

La recogida de datos en este caso se realizó mediante la “sección de profesor” de la aplicación. Al acceder a la misma, los autores pueden rellenar sus preguntas añadiendo el material que consideren necesario. Una vez subidas las preguntas, los revisores proceden a realizar la corrección de las preguntas y su categorización, y éstas quedarán listas para su uso en caso de ser aprobadas.

No fue necesario realizar una normalización de los archivos ya que el sistema está diseñado para almacenar los nombres de los que se suban a la aplicación, y para interpretar si un archivo es un vídeo, audio o imagen.

Se deberá realizar una vigilancia de los archivos que los autores refieran a la aplicación, ya que el lenguaje HTML5 no es compatible con todos los tipos de codificación de vídeo. Los archivos que no sean compatibles se recodificarán a OGG y MP4 para asegurar la compatibilidad con los navegadores.

Para la recogida de preguntas inicial se contó con la colaboración de 25 veterinarios vinculados a cuatro universidades distintas: Universidad Alfonso X el Sabio, Universitat Autònoma de Barcelona, Universidad Complutense de Madrid y Universidad de Zaragoza.

7.3.6 **Prueba y verificación de la aplicación**

Durante el desarrollo del sistema, los distintos fragmentos funcionales (u objetos) del código se fueron probando para asegurar su correcto funcionamiento.

Una vez finalizada la aplicación, se revisó el código para buscar errores presentes en el mismo. Tras pasar esta inspección, se realizaron pruebas de software completo para asegurar que este funcionaba como era esperado y no contenía ningún *bug*.

7.4 Resultados

Se ha creado una plataforma que permite la realización de competiciones entre dos a cuatro equipos, los cuales pueden estar formados por uno a cuatro miembros.

La aplicación finalizada puede encontrarse en la siguiente dirección:

URL: http://www.unizar.es/simuladores/

Esta plataforma plantea preguntas de respuesta múltiple con una opción correcta basadas en texto, vídeo, audio o imágenes y con un tiempo de respuesta para los equipos programable. En caso de fallo, la oportunidad de juego pasará al siguiente equipo.

Se han recogido hasta la fecha 828 preguntas clasificables en 8 grupos de especies animales (acuáticos, aves, conejos, équidos, exóticos, perro y gato, porcino, rumiantes), 8 aparatos o sistemas (todos, aparato cardiovascular, aparato digestivo, aparato locomotor, aparato reproductor y genitourinario, aparato respiratorio, sistema nervioso y sentidos, otros) y en 21 disciplinas (todas, anatomía, anatomía patológica, anestesia, dermatología, diagnóstico por imagen, endocrinología, enfermedades infecciosas, enfermedades parasitarias, etología, farmacología y terapéutica, fisiología, genética, medicina interna, neonatología, neurología, nutrición y producción, patología quirúrgica, propedéutica, reproducción y obstetricia, toxicología, otras).

De estas 828 preguntas iniciales, se han revisado y aprobado ya un total de 638 que quedan clasificadas como se relaciona a continuación. Hay que tener en cuenta que las preguntas pueden pertenecer a más de una categoría diferente y que actualmente y debido al enfoque inicial de la aplicación, todas ellas pertenecen al grupo de los équidos.

Clasificando las preguntas por aparatos o sistemas se obtiene el siguiente resultado:

- Todos: 90
- Aparato cardiovascular: 74
- Aparato digestivo: 159
- Aparato locomotor: 132
- Aparato reproductor y genitourinario: 95
- Aparato respiratorio: 63
- Sistema nervioso y sentidos: 57
- Otros: 111

Clasificando las preguntas por disciplina, el resultado es el siguiente:

- Todas: 3
- Anatomía: 89
- Anatomía patológica: 4
- Anestesia: 20
- Dermatología: 41
- Diagnóstico por imagen: 52
- Endocrinología: 10
- Enfermedades infecciosas: 61
- Enfermedades parasitarias: 195
- Etología: 1
- Farmacología y terapéutica: 33
- Fisiología: 15
- Genética: 34
- Medicina interna: 92
- Neonatología: 54
- Neurología: 15
- Nutrición y producción: 24
- Patología quirúrgica: 24
- Propedéutica: 6
- Reproducción y obstetricia: 58
- Toxicología: 6
- Otras: 10

7.4.1 **Capa de Negocio**

Tras la primera fase de análisis y diseño, se ha elaboró un DFD que permite ver las opciones que tendría disponibles el usuario, así como avanzar en futuras fases de diseño determinando los módulos necesarios, las interfaces de conexión entre ellos, así como la estructura necesaria para la base de datos (Figura 7.1).

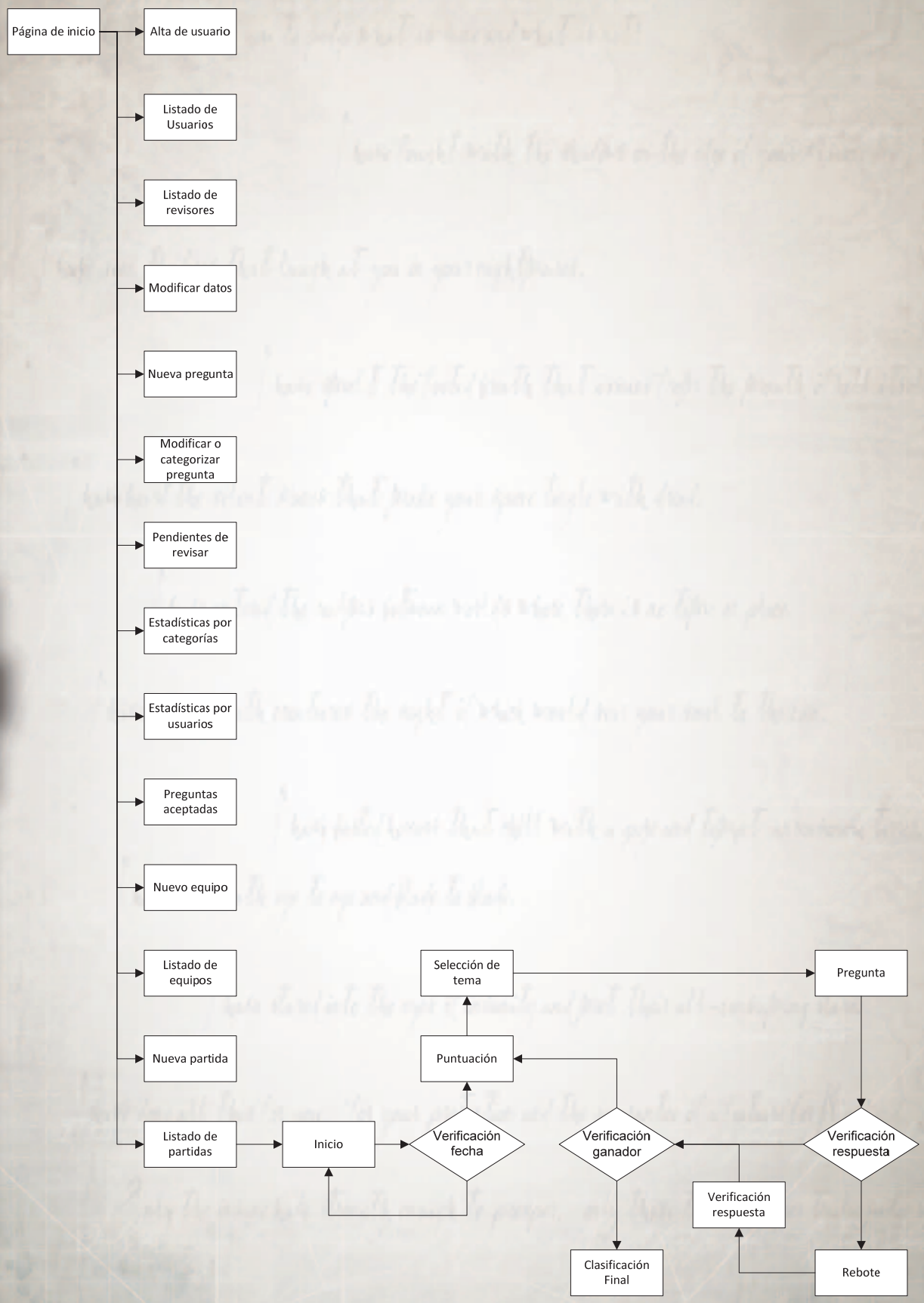


Figura 7.1: DFD de la Plataforma Coop-PVP de Evaluación de Conocimientos

7.4.2 **Capa de Datos**

En la fase de diseño de la capa de datos, se generaron los DER en los cuales se ejemplifica de forma gráfica la relación entre los diferentes campos de la base de datos (Figura 7.2).

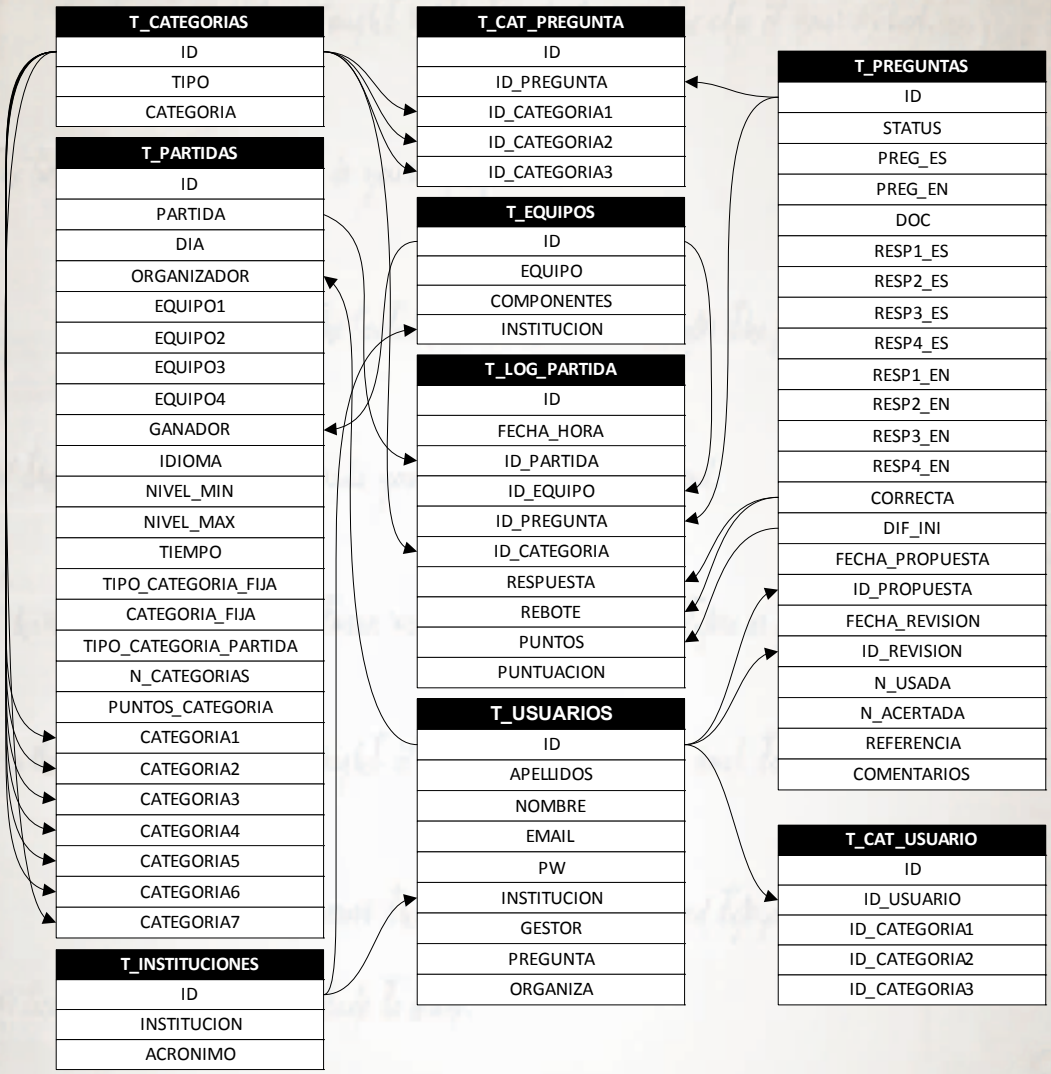


Figura 7.2: DER de la Plataforma Coop-PVP de Evaluación de Conocimientos

7.4.3 Capa GUI

Por último y con la capa de negocio y la capa de datos diseñadas, se procede al diseño, desarrollo e implementación de la GUI cuyo resultado se detalla a continuación:

7.4.3.1 *Modo profesor*

Figura 7.3: Identificación del usuario

El usuario debe identificarse para acceder a la aplicación. En caso de pérdida de la contraseña se provee de un enlace para poder restablecerla (Figura 7.3).

Cuando el usuario accede a la aplicación, esta le identifica con un nivel de usuario, bloqueando el acceso a determinadas áreas de la misma en caso de intentarlo. Así un autor no podrá revisar preguntas si no está habilitado como revisor de una categoría concreta ni crear partidas si no está habilitado como organizador.

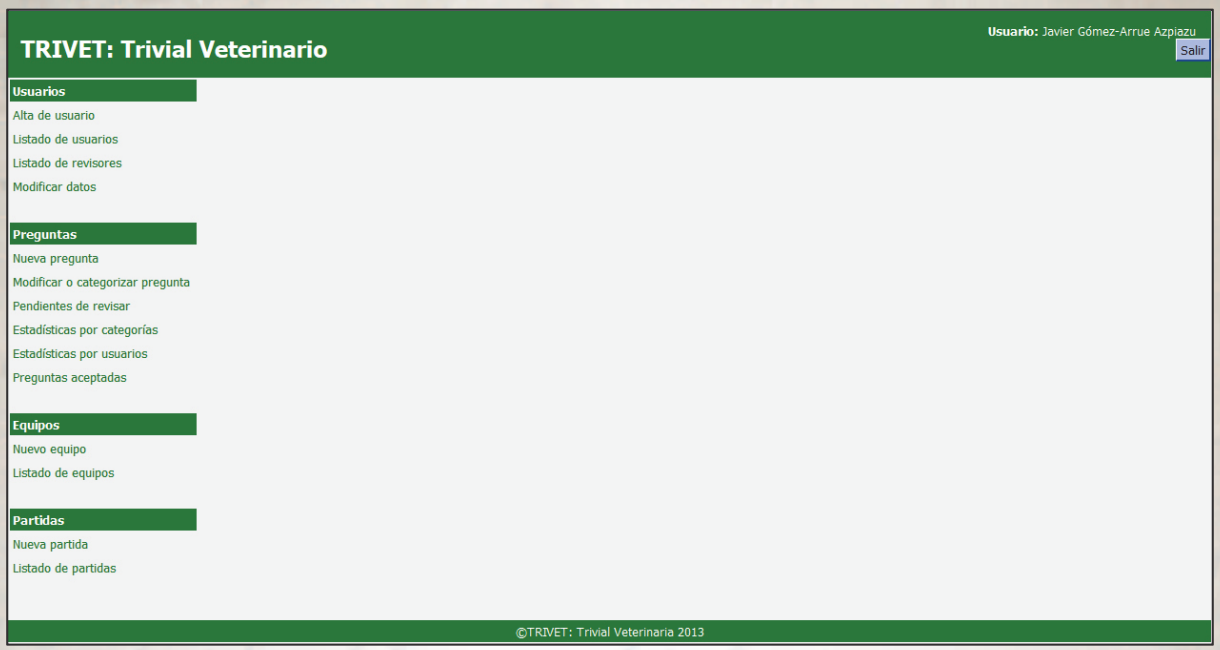


Figura 7.4: Pantalla Inicial

Una vez se accede al sistema, se muestra la zona administrativa con el menú dividido en cuatro zonas: gestión de usuarios, preguntas, equipos y partidas (Figura 7.4).

7.4.3.1.1 Gestión de usuarios

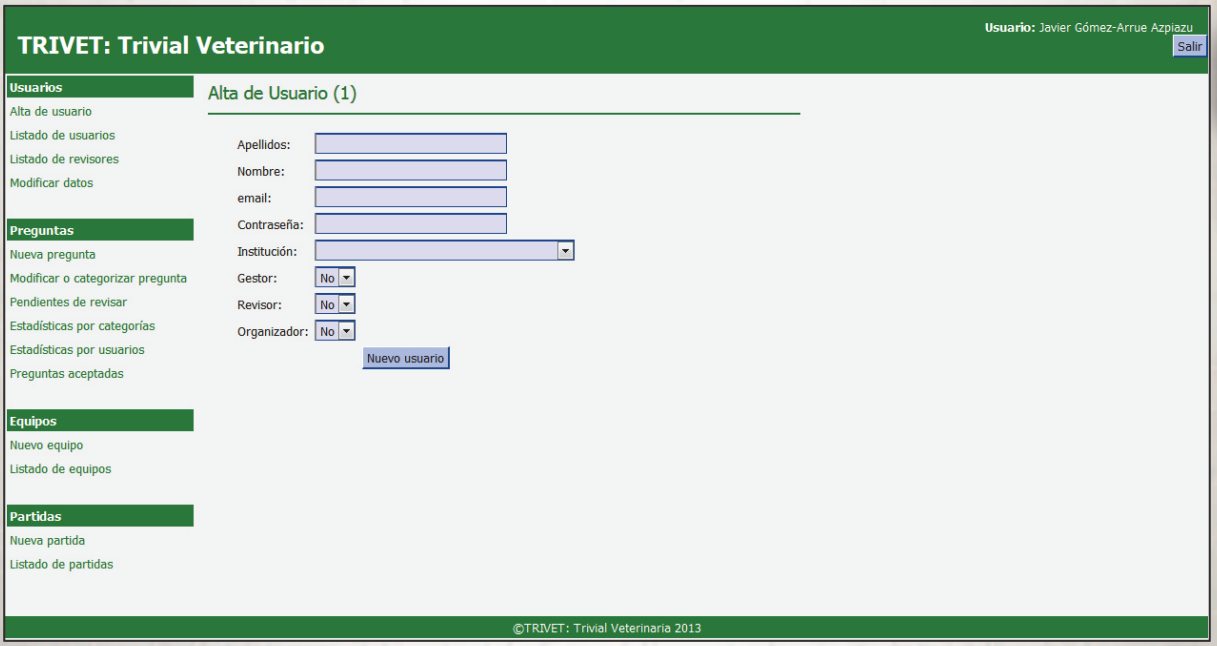


Figura 7.5: Alta de usuarios

El enlace "Alta de Usuario" permite el acceso a la zona para la creación de nuevos usuarios. La aplicación solicita nombre, apellidos, correo electrónico, contraseña e institución del usuario. Permite clasificarlo también como gestor, revisor y/u organizador (Figura 7.5).

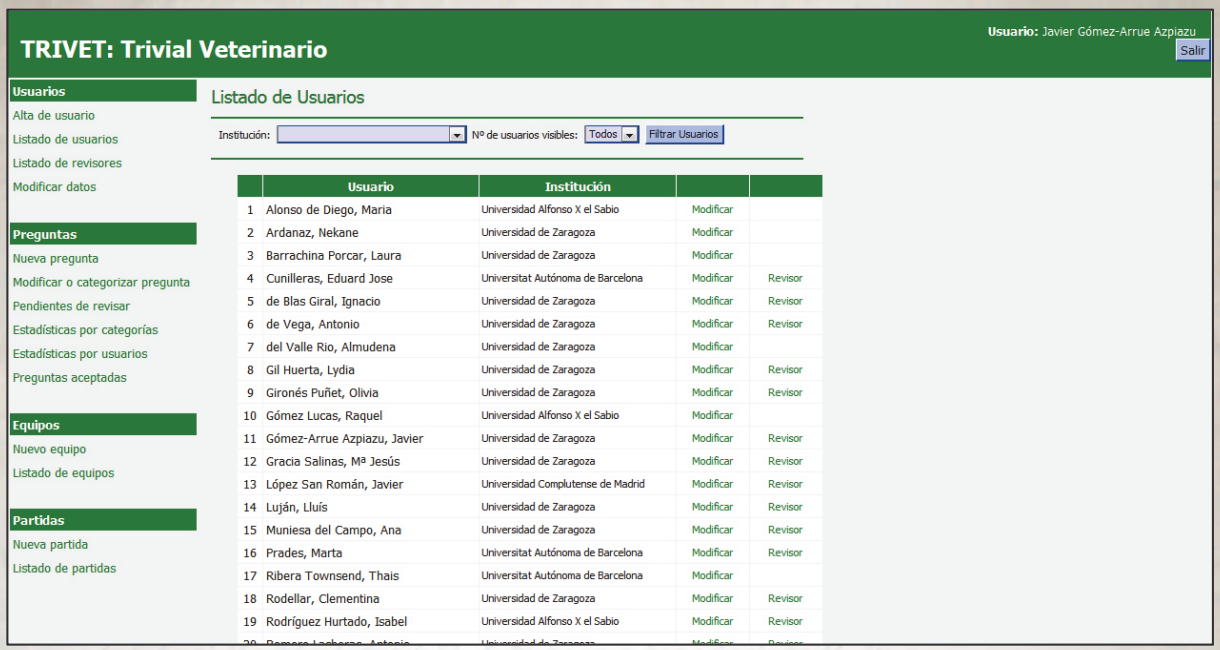


Figura 7.6: Lista de usuarios de la aplicación

"Listado de usuarios" permite la visualización de los usuarios creados. Se pueden filtrar los usuarios por institución si se requiere y permite la modificación de los datos de un usuario así como la asignación de las categorías de las que el usuario puede ser revisor (Figura 7.6).

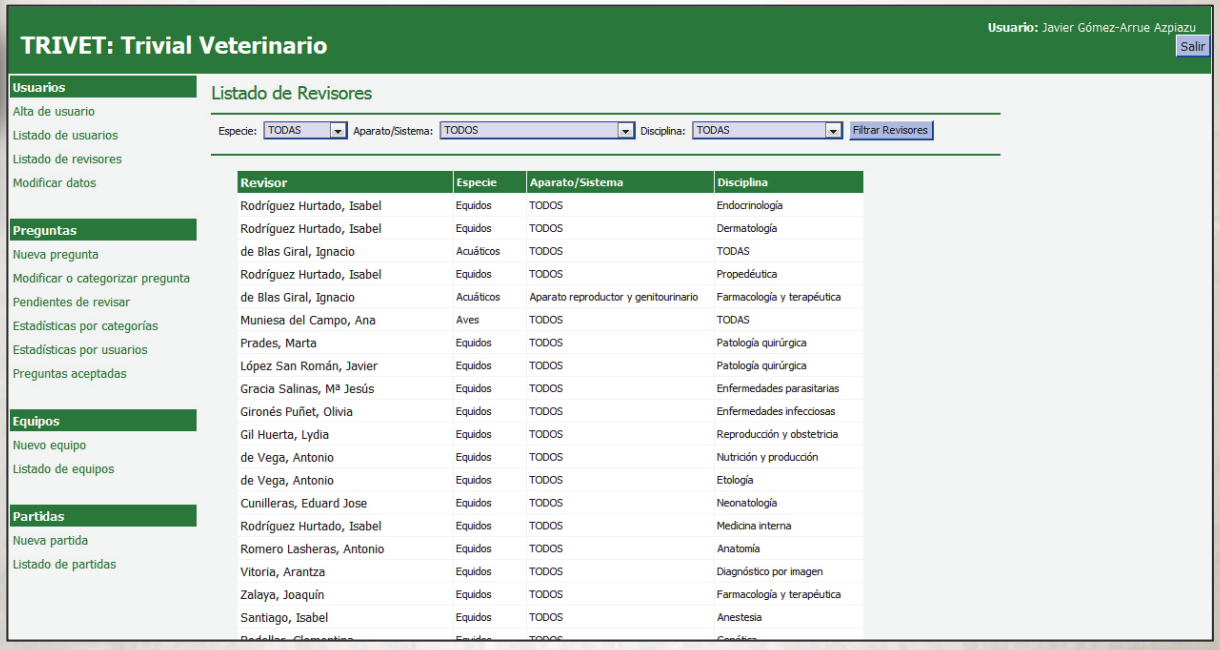


Figura 7.7: Lista de revisores

En "Listado de revisores" se muestran los distintos revisores y las categorías en las que éstos están habilitados como tales (Figura 7.7).

Figura 7.8: Modificar datos personales

"Modificar datos" permite que un usuario modifique sus propios datos. Nombre, usuario, correo electrónico y contraseña (Figura 7.8).

7.4.3.1.2 Gestión de preguntas

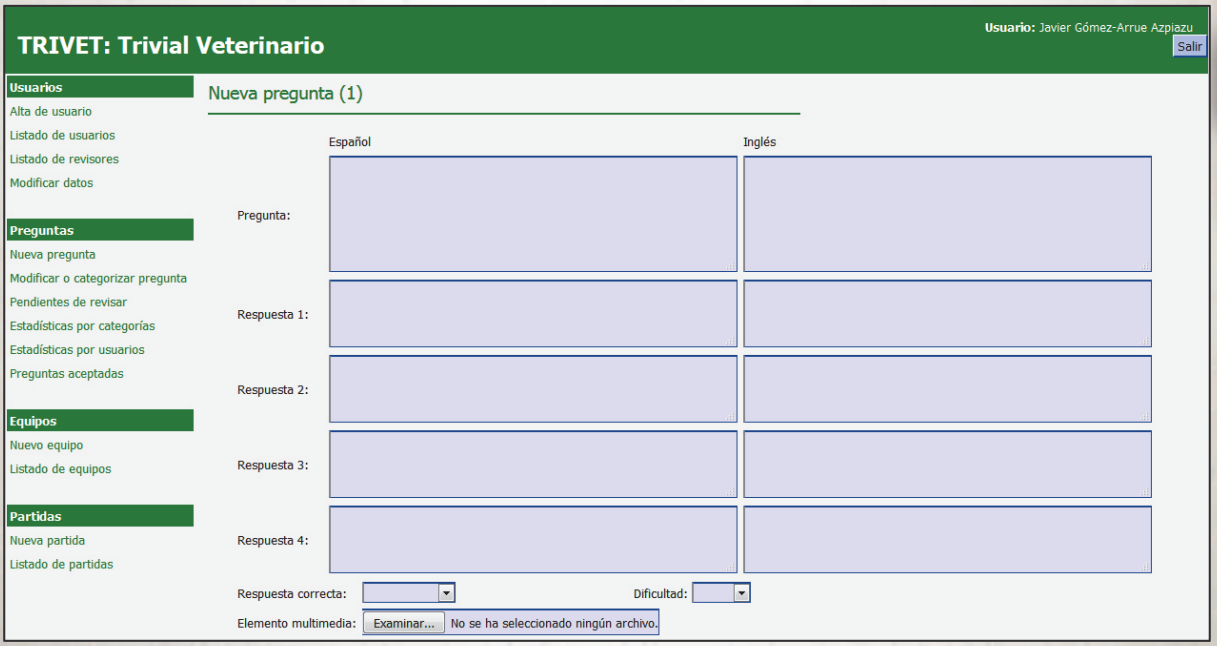


Figura 7.9: Creación de nuevas preguntas

A través de la interfaz "Nueva pregunta" se envían las preguntas al sistema. Se deben rellenar las preguntas en castellano y en inglés con las cuatro respuestas posibles, la posición que identifica la respuesta correcta, la dificultad inicial asignada, un archivo multimedia, referencias bibliográficas y comentarios (Figura 7.9).

TRIVET: Trivial Veterinario

Usuario: Paco Vázquez Bringas Salir

Usuarios
- Alta de usuario
- Listado de usuarios
- Listado de revisores
- Modificar datos

Preguntas
- Nueva pregunta
- Modificar o categorizar pregunta
- Pendientes de revisar
- Estadísticas por categorías
- Estadísticas por usuarios
- Preguntas aceptadas

Equipos
- Listado de equipos

Partidas
- Listado de partidas

Listado de Preguntas pendientes de categorizar y/o aceptar

	Pregunta		
1	6) Yegua con enfermedad del navicular o síndrome podotroclear en una extremidad anterior (ver Rx). De las siguientes anestesias diagnósticas marca cuáles podrían eliminar la cojera. 1.- Anestesia digital distal 2.- Anestesia intrarticular interfalangiana distal 3.- Anestesia intrasinovial de la bolsa podotrocelar 4.- Anestesia digital proximal • 1 y 2 • 1, 2 y 3 • 1, 2 y 4 • 1, 2, 3 y 4	Modificar	Categorizar (1)
2	Caballo dedicado a paseos de 12 años que desde hace 2 días presenta una cojera muy grave (casi sin apoyo de la extremidad) del pie posterior derecho. La cojera ha aparecido en la cuadra de manera aguda. El caballo no había trabajado ni se había herrado los días previos a la aparición de la cojera. El animal no tiene historial previo de cojera o patologías en esa extremidad. En la exploración se observa calor en el casco y pulso digital aumentado. En la exploración con la tenaza de cascos se confirma mucho dolor en el casco, pero sobre todo en el talón externo: al presionar se obtiene algo de líquido negruzco maloliente por la línea alba. Realizas unas radiografías del casco y no observas ningún hallazgo anormal. ¿Cuál es el diagnóstico más probable? • Quiste en el casco, probablemente por melanoma • Clavo halladizo que ha llegado hasta la bolsa del navicular • Queratoma en el casco • Absceso en el casco	Modificar	Categorizar (1)
3	¿Con cuál de los siguientes tratamientos crees que ayudarías más a la recuperación de este caso? • a) Neurectomía digital distal • b) Herraje terapéutico • c) Crioterapia cascos • d) Infiltración intrarticular	Modificar	Categorizar (1)
4	¿Cuál de las siguientes causas NO es un motivo frecuente de obstrucción esofágica en caballos? • Ingesta de pienso pelletizado • Problemas en la dentición • Competencia entre congéneres por la comida (comer muy rápido) • Comer hierba fresca con la embocadura puesta	Modificar	Categorizar (0)

Figura 7.10: Modificación o categorización de preguntas

En “Modificar o categorizar pregunta” se muestran aquellas preguntas que aún están sin categorizar permitiendo asignarles las distintas categorías existentes en el sistema o disociarlas de aquellas a las que estén asignadas. También permite modificar las preguntas para cumplir las recomendaciones realizadas por un revisor (Figura 7.10).

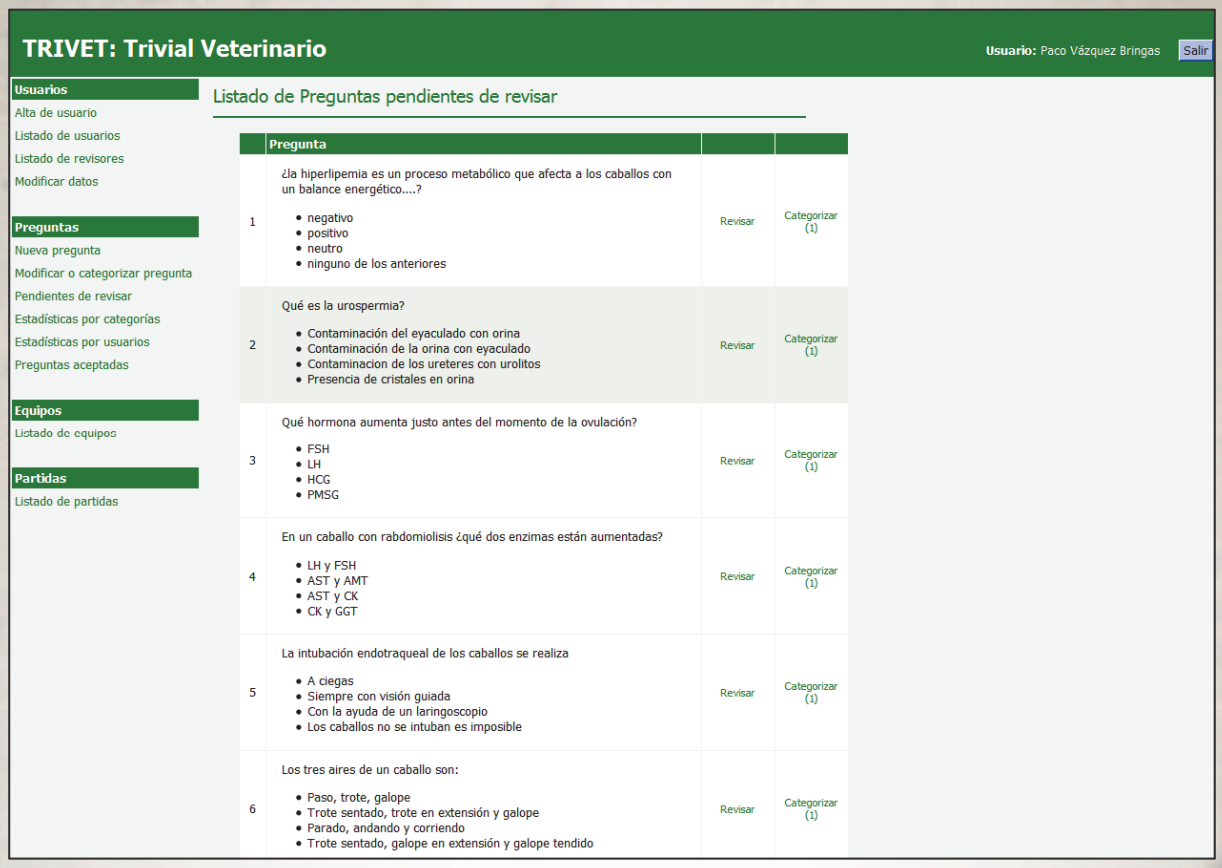


Figura 7.11: Preguntas pendientes de revisar

En la pantalla "Pendientes de revisar" se muestran aquellas preguntas que están aún pendientes de revisar. Permite modificar los datos de las preguntas y posteriormente guardarlas. Las opciones para el revisor son modificar y aceptar, modificar y mantener pendiente de revisión o rechazar pregunta (Figura 7.11).

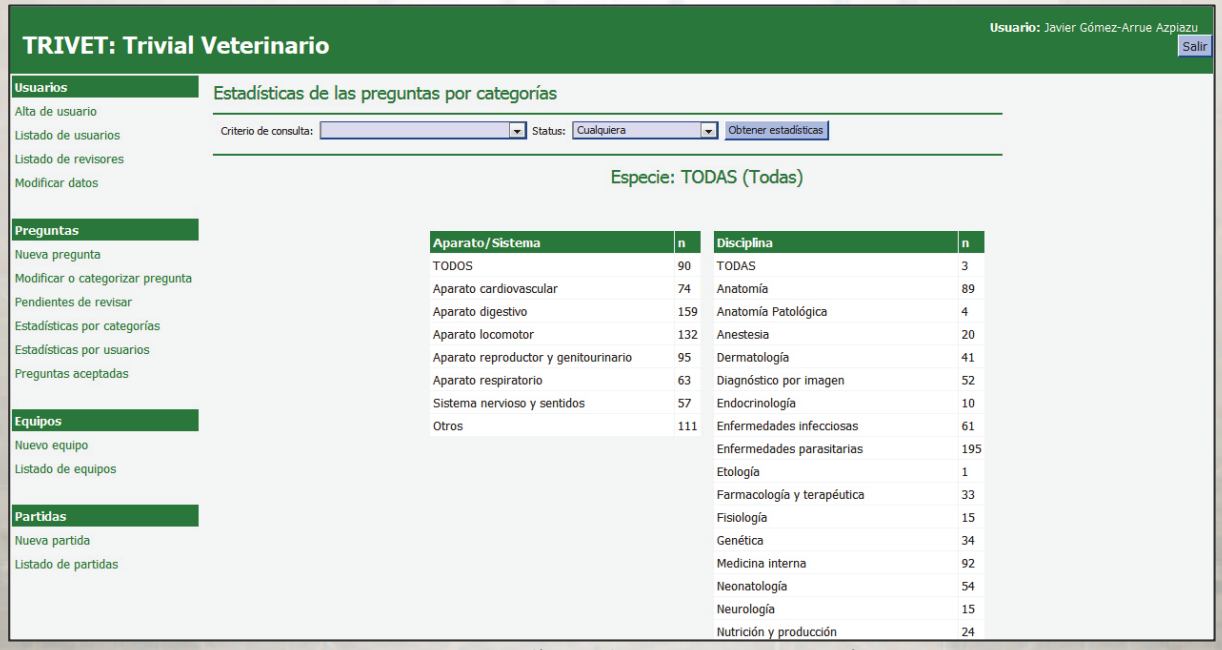


Figura 7.12: Estadísticas de preguntas por categoría

En “Estadísticas por categorías” se pueden consultar los datos demográficos de las preguntas presentes en la aplicación, pudiéndose filtrar por categorías o por estatus de las mismas (Figura 7.12).

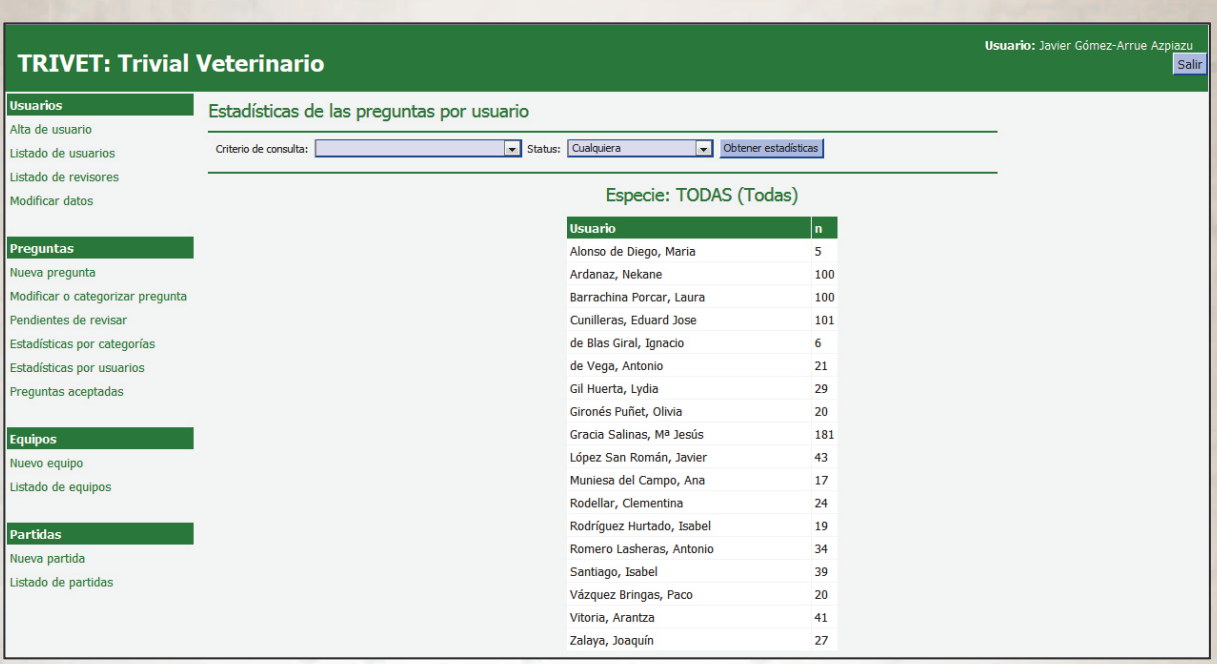


Figura 7.13: Estadísticas de preguntas por usuario

En el caso de “Estadísticas por usuarios”, se pueden consultar los datos demográficos de las preguntas aportadas por cada autor (Figura 7.13).

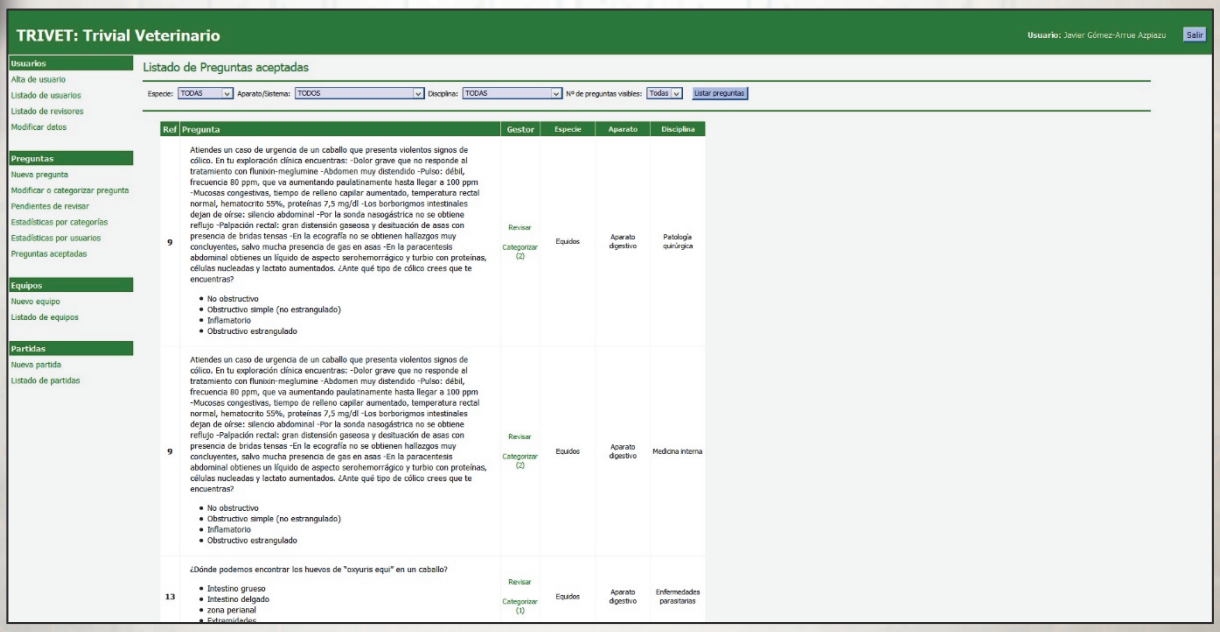


Figura 7.14: Listado de preguntas aceptadas

“Preguntas aceptadas” permite revisar las preguntas incorporadas al sistema mostrando el enunciado, las respuestas y las categorías a las que están asignadas. Si el usuario es un gestor, permite además acceder a la revisión y categorización de las preguntas aunque ya estén aceptadas (Figura 7.14).

7.4.3.1.3 Gestión de equipos

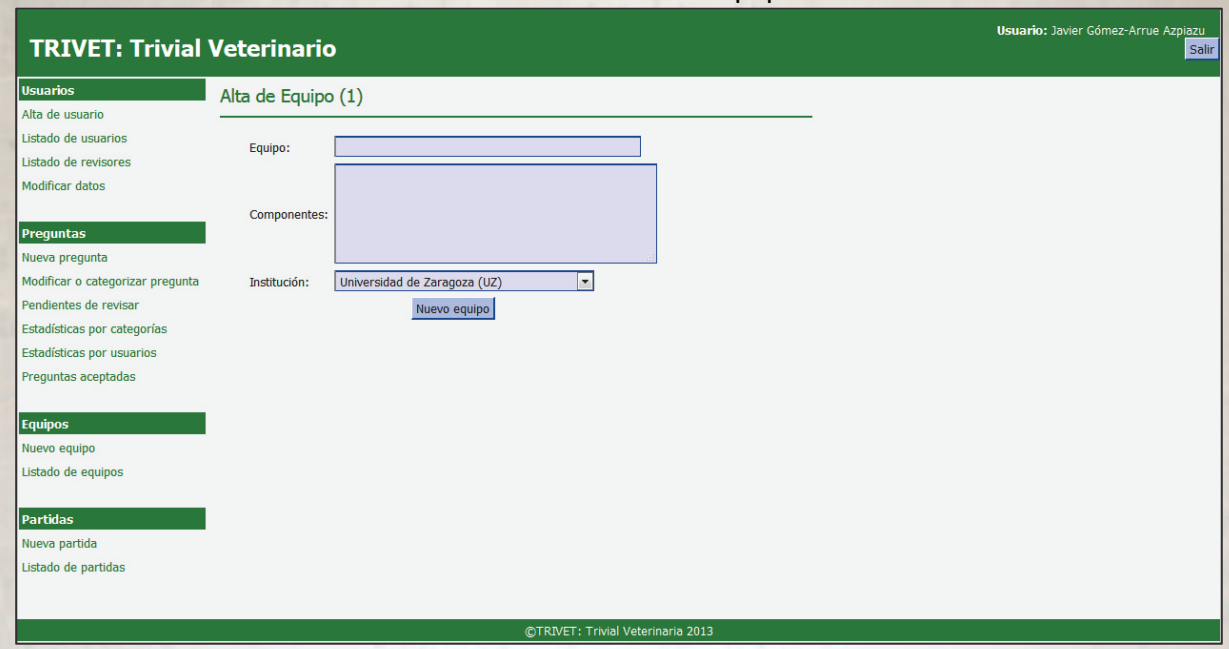


Figura 7.15: Alta de nuevo equipo

"Nuevo equipo" es una sección preparada para la creación de equipos. Permite asignarles nombre, miembros e institución (Figura 7.15).

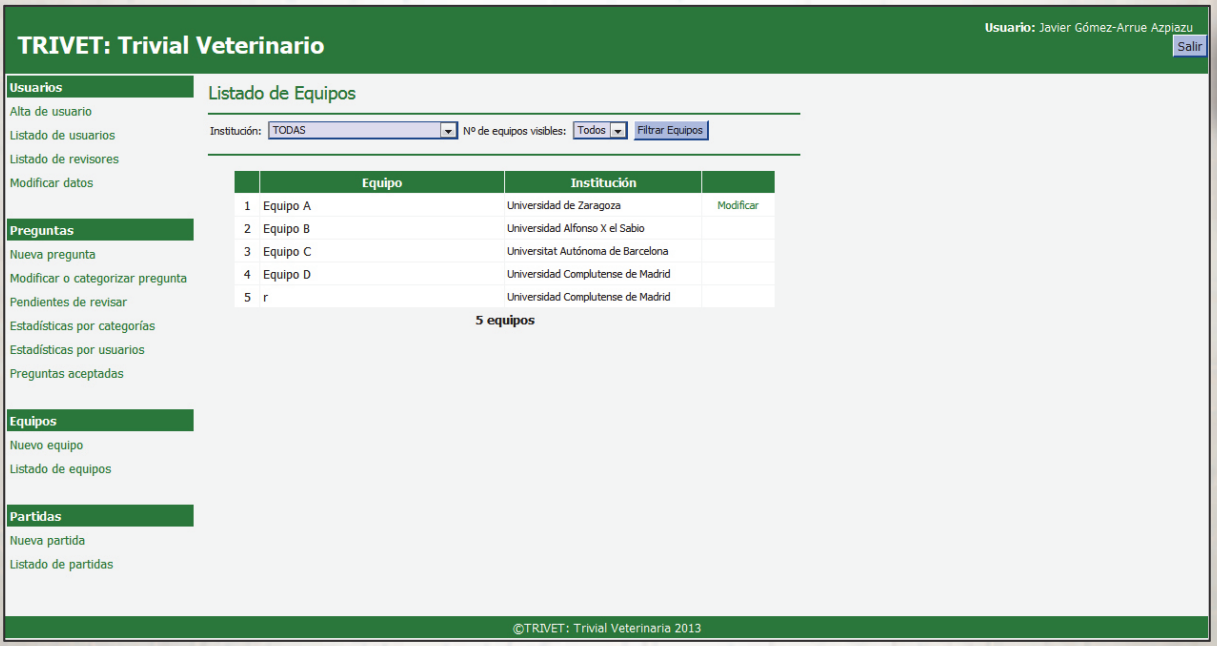


Figura 7.16: Listado de equipos

En "Listado de equipos" se muestran los equipos incorporados al sistema permitiendo la modificación de los equipos pertenecientes a la institución del usuario si este es organizador. Solo permite ver los miembros del equipo al modificarlo pero como el equipo responde como un único ente no es tampoco una información excesivamente relevante (Figura 7.16).

7.4.3.1.4 Gestión de partidas

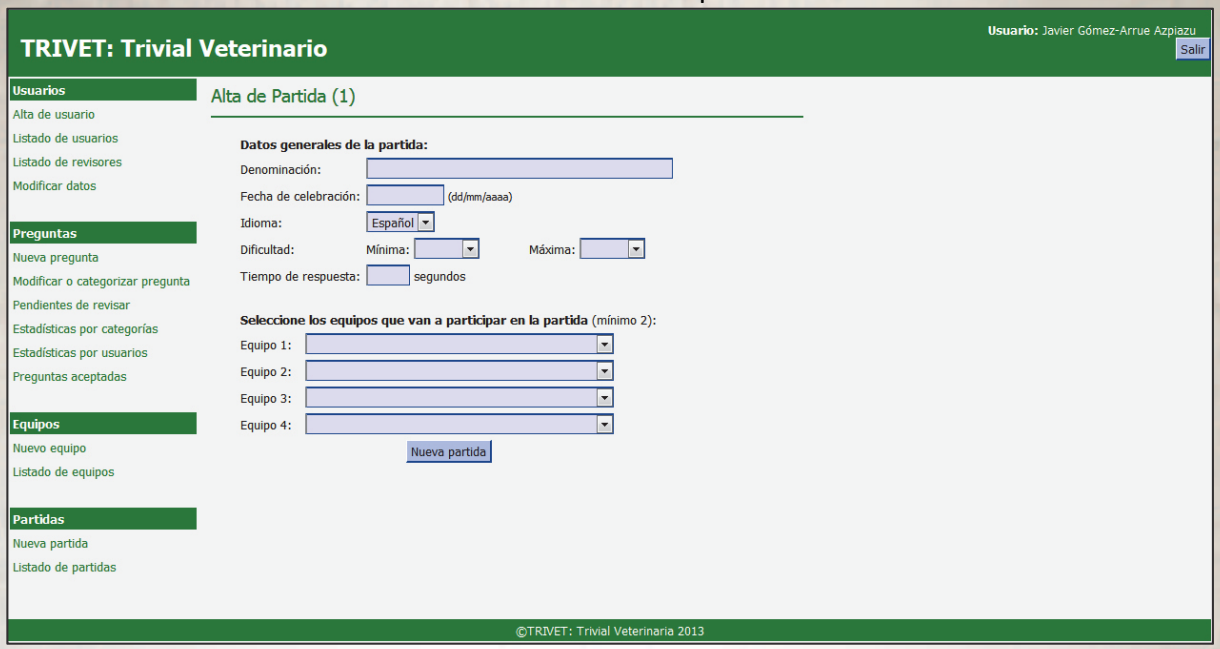


Figura 7.17: Alta de partida nueva

"Nueva partida" permite crear una nueva partida. Al realizar la creación se solicita un nombre para la partida, fecha, idioma en el que se jugará, dificultades mínima y máxima, tiempo de respuesta por pregunta y los equipos participantes. Exige un mínimo de dos equipos (Figura 7.17).

Figura 7.18: Listado de preguntas, jugadas y pendientes

Figura 7.19: Vista de partida jugada

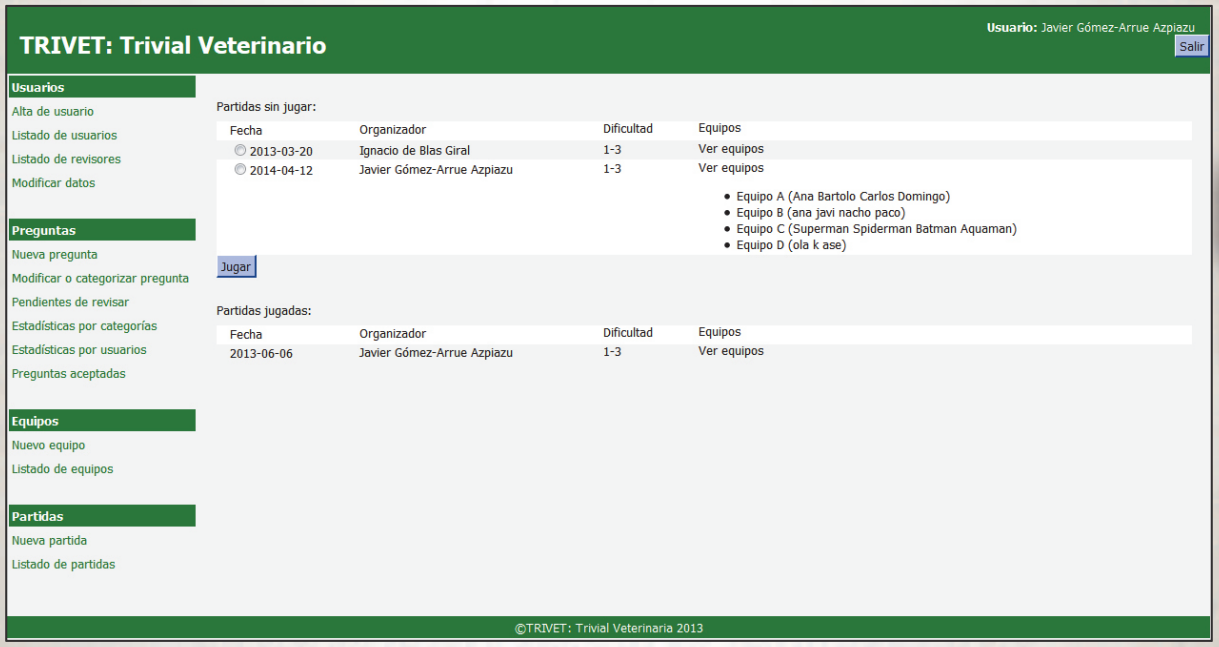


Figura 7.20: Vista de partida pendiente de jugar

En “Listado de partidas” se lleva la gestión de las partidas existentes, tanto las pendientes como las ya disputadas. Se ve de un golpe de vista la fecha estimada de la partida, el organizador, las dificultades seleccionadas y al situar el ratón encima de las partidas se puede ver qué equipos participan en la partida (así como sus componentes) y, si ya se ha disputado, quién ha sido el ganador (Figura 7.19).

Las partidas sin disputar disponen de un botón para seleccionar una de ellas y acceder al modo juego (Figura 7.20).

7.4.3.2 ***Modo juego***

Figura 7.21: Presentación de la partida

En la pantalla de inicio del sistema se presentan los equipos participantes y sus instituciones así como el organizador del evento (Figura 7.21).

Figura 7.22: Puntuaciones iniciales

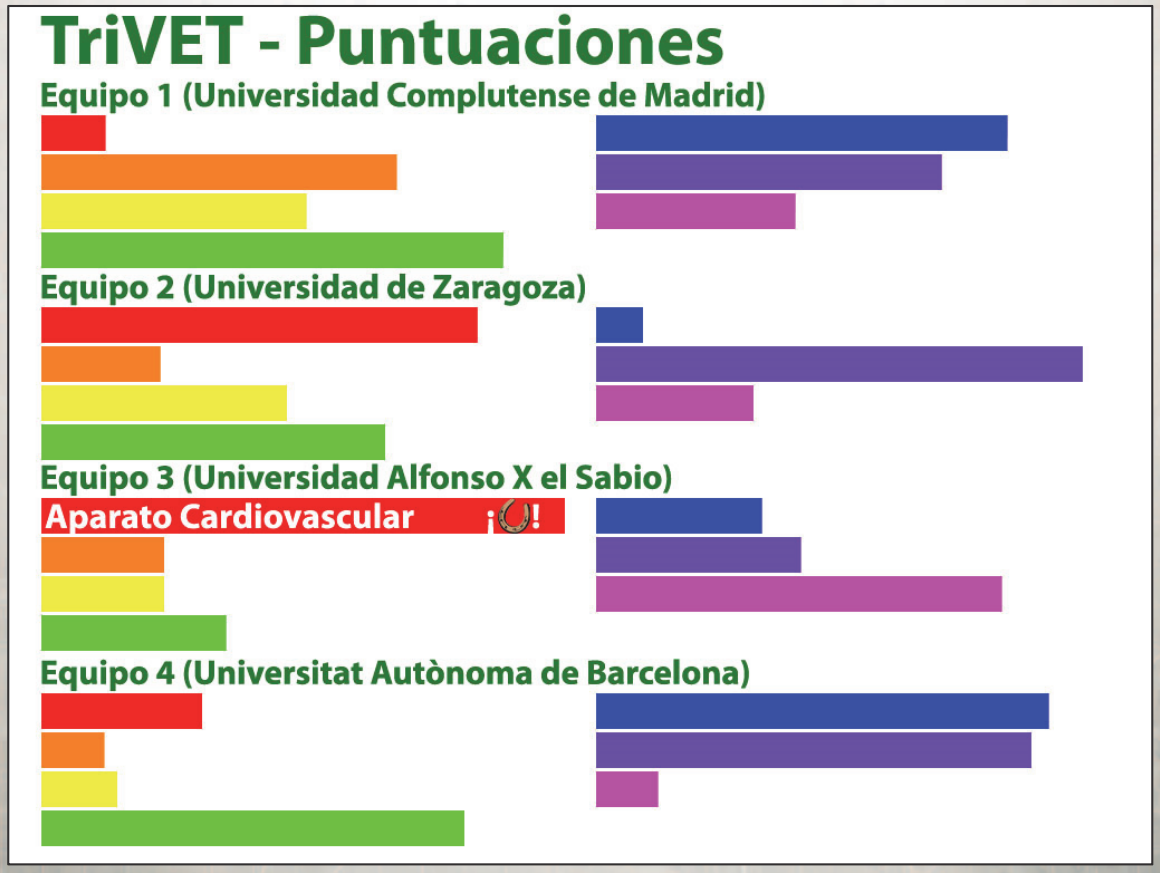


Figura 7.23: Puntuaciones a lo largo de la partida, con categoría completa

La pantalla de puntuación ejerce de núcleo de la partida mostrando en cada momento las puntuaciones de todos los equipos así como el siguiente equipo en jugar. Es la localización diseñada para que la partida pueda "tomarse un respiro" y los jugadores puedan descansar ya que el resto de pantallas son automáticas y no permiten detener las cuentas atrás de tiempo. La pantalla está preparada para albergar hasta ocho barras de puntuación (Figura 7.22).

Cuando un equipo consigue acumular suficientes puntos para completar un tema, queda marcado con la aparición de un icono en la barra de puntuación de dicho tema (Figura 7.23).

Figura 7.24: Selección de tema, con posibilidad de completar categoría

El sistema muestra el equipo que está jugando y le permite elegir entre dos temas. Si el equipo estuviera en disposición de completar una de las categorías se dejará claramente marcado. El equipo jugador tendrá 10 seg para elegir un tema. Si los jugadores no lo eligen en ese tiempo, el sistema elegirá uno al azar en su lugar (Figura 7.24).

Posteriormente, al equipo jugador se le plantea una pregunta que debe responder. Se le otorgan cuatro opciones de las cuales solo una es correcta. Al equipo se le muestra el tema de la pregunta, la pregunta, las cuatro opciones y el tiempo que queda hasta que acabe su turno (Figura 7.25).

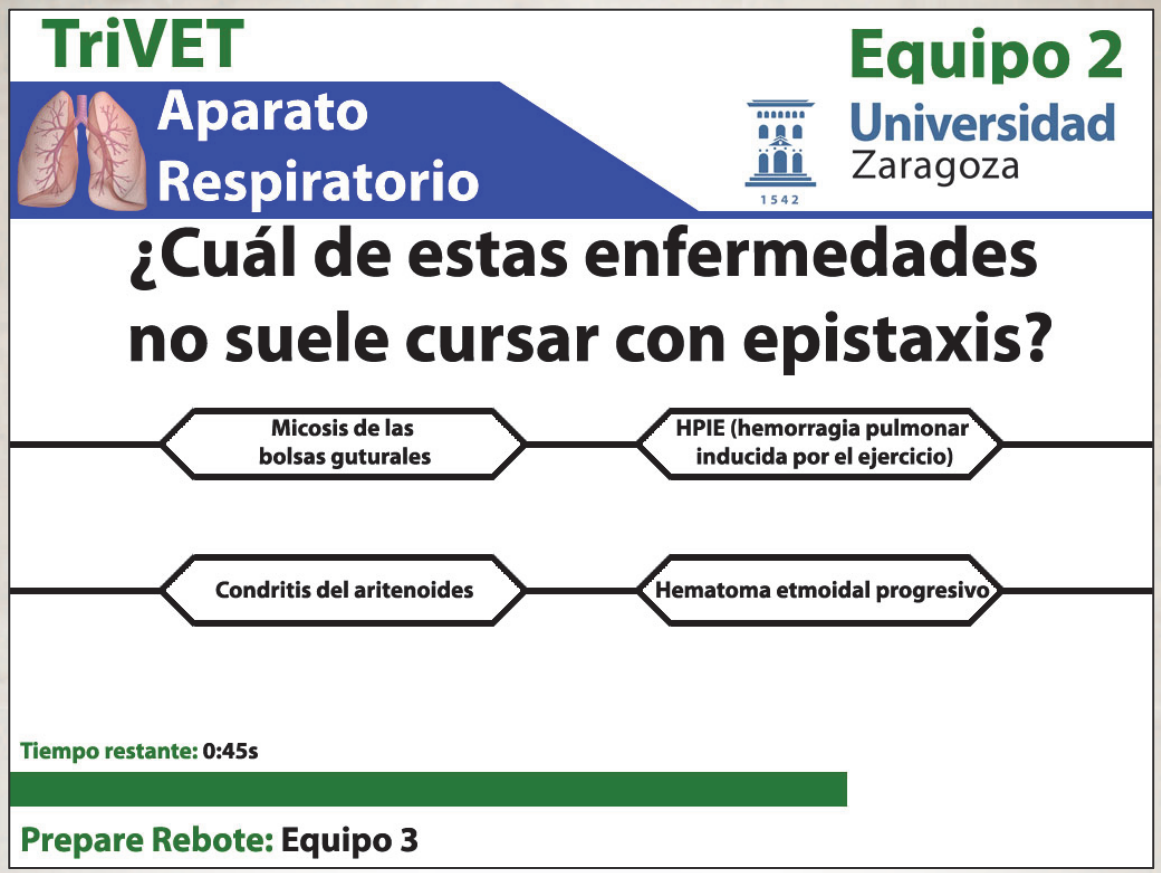


Figura 7.25: Pregunta

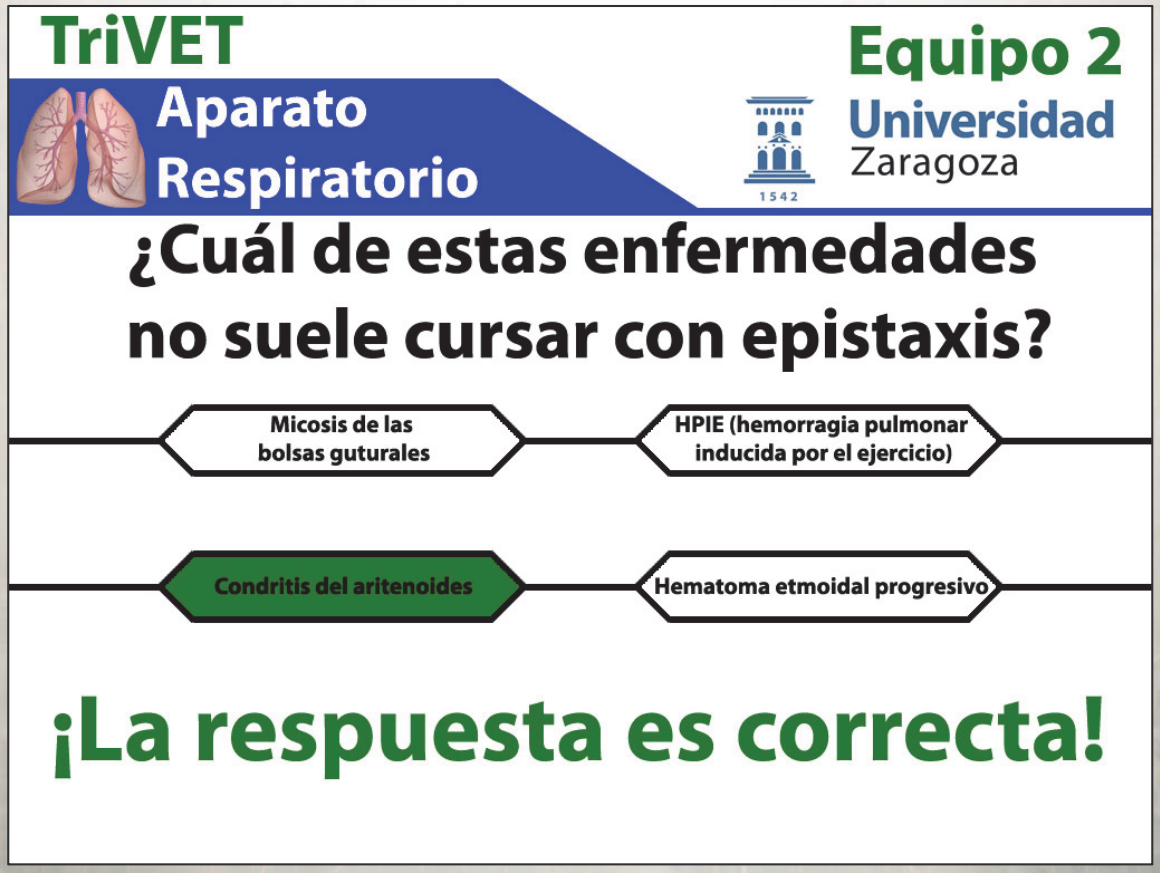


Figura 7.26: Respuesta correcta

Figura 7.27: Respuesta incorrecta

Figura 7.28: Rebote con respuesta correcta

Si responde correctamente, el sistema lo deja así anunciado con la respuesta marcada en verde y el texto "¡La respuesta es correcta!" sobreimpreso en la pantalla (Figura 7.26). Tras esto vuelve a la pantalla de puntuación anunciando el siguiente equipo.

Si el equipo responde incorrectamente, la aplicación marca la respuesta en rojo y anuncia el rebote (Figura 7.27). El contador cambia a rojo y permite al siguiente equipo responder a la pregunta. Tras la respuesta del siguiente equipo, que el sistema marca en verde o rojo en función de si es o no correcta, la aplicación vuelve a la pantalla de puntuación (Figura 7.28).

Figura 7.29: Puntuación final

Una vez que un equipo llega al final de la partida, el sistema finaliza la misma indicando quién ha salido vencedor.

El segundo puesto corresponde al siguiente equipo con más temas completados y el tercero para el tercer equipo con más temas completados.

Si hubiera un empate en temas completos, se calcularía el total de puntos para decidir entre el segundo y el tercer puesto (Figura 7.29).

7.5 Análisis de debilidades del sistema

La aplicación desarrollada es una aplicación potente que permite la organización de partidas e incluso ligas entre varios centros de diferentes instituciones sobre patología equina. Si bien no es una herramienta que siga la ortodoxia de la *gamificación* (en cuanto a un establecimiento de objetivos que van siendo más complejos conforme avanza el usuario) y otorga poco tiempo para el trabajo en grupo, sí que fuerza a los alumnos a realizar una toma de decisión en grupo en cortos espacios de tiempo en situaciones de estrés, circunstancia a la que se van a enfrentar en su futuro profesional. Además, se ha creado una plataforma de evaluación con preguntas revisadas por pares, lo que garantiza la calidad científica de las mismas al mismo nivel que lo haría una revista científica.

Además, la funcionalidad potencial de una plataforma de estas características es enorme y no debería quedarse ahí.

En primer lugar, la plataforma puede prepararse para identificar a los miembros del grupo de forma individual. Esto daría lugar a varias alternativas que merece la pena considerar.

Permitiría a cada usuario reanalizar la partida a posteriori. Al tener almacenado en el registro de la aplicación lo que ha respondido cada equipo en cada momento se podría evaluar en qué preguntas se han equivocado, cuál ha sido su respuesta y cuál era la correcta con los enlaces a la bibliografía a mano para poder no solo leer el resultado, sino consultar el motivo real del fallo o el acierto (si por un casual ha sido fruto del azar).

No solo eso, sino que también permitiría que cada miembro del equipo emitiera su voto individual pudiéndose preparar distintos escenarios. En uno, el sistema elegiría el resultado por mayoría de votos en el equipo (con lo que al final sería lo mismo que el anterior realmente). En otro posible escenario, el sistema puntuaría en función del tiempo hasta la respuesta multiplicando por ejemplo los puntos por el porcentaje de tiempo restante; en este caso se obligaría a los alumnos a elegir entre la ambición de recibir una puntuación elevada o el consenso del grupo. En otro, cada usuario podría enviar un voto a un líder del grupo que sería asesorado pero mantendría la capacidad última de decidir el voto final. Estas opciones otorgan a la aplicación diferentes mecánicas de grupo que los usuarios pueden analizar, y en función de lo que se quiera potenciar se podrá realizar uno u otro escenario.

En segundo lugar, la plataforma debería hacerse lo más flexible posible. De ese modo, no sería una plataforma diseñada para realizar preguntas de veterinaria equina sino de cualquier temática. Para ello, lo ideal sería en primer lugar sustituir el sistema de las tres categorías jerarquizadas por un sistema de etiquetas que permita cualquier número de ellas por pregunta. Este sistema de etiquetas debería estar muy bien diseñado para no mezclar preguntas de distintos ámbitos que puedan llegar a mezclarse nominativamente (por ejemplo, en una partida de cirugía humana hablar de la patología del casco o de la trocarización del rumen). Habría que realizar unos diagramas de relación entre etiquetas que permitieran saber de forma segura qué preguntas pueden hacerse en cada partida, pudiéndose también variar la dificultad de las preguntas en función de la categoría. Quizá si se organiza una partida de “cultura general” la dificultad de las preguntas técnicas debería ser nominalmente más elevada, o quizá esa dificultad debería ser individual para cada usuario en función de sus respuestas anteriores.

Otra cosa que debería revisarse en este caso, aunque sea desde un punto de vista meramente estético son los iconos. El sistema debería permitir al organizador de la partida elegir los iconos,

colores y símbolos de cada categoría para permitir que se adecúen a lo que el organizador tenga en mente.

Una vez introducidos estos cambios la plataforma ganaría mucho en flexibilidad y permitiría que cualquiera que estuviese interesado añadiera sus preguntas y realizara las partidas que eligiera con la temática deseada, o simplemente se pudiera jugar para pasar el rato aprendiendo mientras tanto, favoreciéndose de ese modo la diseminación del conocimiento ya que la aplicación no solo dice si está bien o mal, sino que ofrece al usuario bibliografía contrastada para que este pueda informarse hasta el punto que prefiera.

Plataforma Coop-PvP de evaluación de conocmiento

8
Conclusiones

“Es un asunto peligroso, Frodo, cruzar la puerta. Pones tus pies en el camino y, si no tienes cuidado, no sabes hacia dónde te arrastrará”

JRR Tolkien
El Señor de los Anillos

Imagen Original: David Ortiz Díaz. Flickr

En base al contexto de diseño, desarrollo e implementación de las aplicaciones presentadas en esta Memoria, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Primera:

La obligación de preparar a los alumnos para desenvolverse en entornos y situaciones reales requiere optimizar la utilización de algunos recursos escasamente disponibles que pueden ser complementados mediante el uso de simuladores docentes.

Segunda:

La adquisición de algunas competencias básicas del Grado en Veterinaria debería complementarse mediante la utilización de herramientas que exijan la participación activa de los alumnos, faciliten el aprendizaje autónomo y permitan la autoevaluación.

Tercera:

Las nuevas metodologías docentes que emplean las tecnologías de la información y la comunicación pueden ser muy eficientes para adquirir determinadas competencias siempre que sean convenientemente diseñadas y utilizadas en un contexto adecuado.

Cuarta:

El protocolo utilizado de forma habitual en la práctica clínica para el diagnóstico de cojeras en caballos puede ser simulado mediante una aplicación informática atractiva y bien valorada por los alumnos, que facilita un aprendizaje significativo de dicho proceso.

Quinta:

La herencia de las capas en los caballos permite aunar los principales conceptos de la herencia mendeliana en un modelo motivador y con aplicación directa en la actividad profesional de los graduados en veterinaria.

Sexta:

La *gamificación* de la evaluación, a través de la plataforma desarrollada para la organización de torneos entre equipos, favorece la cooperación entre docentes de distintas disciplinas, dinamiza el aprendizaje colaborativo y disminuye el rechazo a la evaluación calificativa.

9
Bibliografía

”El estudio de los escritos invisibles era una nueva disciplina hecha posible por el descubrimiento de la naturaleza bidireccional del Espacio-Biblioteca. Las matemáticas taumatúrgicas son complejas, pero se reducen al hecho de que todos los libros, en todas partes, afectan a todos los demás libros. Esto resulta obvio: los libros inspiran otros libros escritos en el futuro, y citan a libros escritos en el pasado. Pero la Teoría General del Espacio-B sugiere que, en tal caso, los contenidos de los libros no escritos todavía puede deducirse de los libros en existencia“

Terry Pratchett
Lores y Damas

Imagen Original: negativespace.co

1. ANECA (Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación). Libro blanco título de grado en veterinaria. 2005.
2. RCVS (Royal College of Veterinary Surgeons). Essential competences required of the veterinary surgeon. 2006;1–11.
3. RVC (Royal Veterinary College). Bachelor of Veterinary Medicine Day One Skills BVetMed Day One Skills Handbook. 2007.
4. May SA. Modern veterinary graduates are outstanding, but can they get better? J Vet Med Educ [Internet]. 2008 Jan [cited 2015 May 26];35(4):573–80. Available from: http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=6&SID=P1LwIA1r6FHqgOYHCVt&page=1&doc=2
5. Carneiro R, Toscano J, Díaz T. Los desafíos de las TIC para el cambio educativo [Internet]. 1st ed. Madrid: Colección Metas Educativas …. Fundación Santillana; 2009 [cited 2014 Feb 28]. 183 p. Available from: http://iec-peru.org/pdf/cambio_educativo.pdf
6. Takeuchi BLM, Vaala S. Level up learning : A national survey on teaching with digital games. Joan Ganz Cooney Cent. 2014;
7. Jukes N, Chiuia M. Del conejillo de indias al ratón de computadora. InterNICHE; 2006. 554 p.
8. MP (Ministerio de la Presidencia). RD 53/2013. BOE. 2013;34:11370–421.
9. Reznick RK, MacRae H. Teaching Surgical Skills - Changes in the wind. N Engl J Med [Internet]. 2006 [cited 2014 Mar 1];355:2664–9. Available from: http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMra054785
10. Baker PMA, Bujak KR, DeMillo R. The Evolving University: Disruptive Change and Institutional Innovation. Procedia Comput Sci [Internet]. 2012;14(Dsai):330–5. Available from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050912007995
11. MECD (Ministerio de Educación Cultura y Deporte). La integracion del sistema universitario español en el espacio europeo de enseñanza superior. 2003;
12. EU (European Union). El Espacio Europeo de la Enseñanza Superior. Declaración de Bolonia. 1999.
13. EAEVE (European Association of Establishments for Veterinary Education). AMENDED IN MAY 2012 – GA BUDAPEST ANNEX I GUIDELINES , REQUIREMENTS AND MAIN INDICATORS FOR STAGE ONE (Ia) AND STAGE TWO (Ib) GUIDELINES AND REQUIREMENTS FOR STAGE ONE AMENDED IN MAY 2012 – GA BUDAPEST. 2012;(May):15–40. Available from: http://www.eaeve.org/evaluation/standard-operation-procedures.html
14. IAEA (International Atomic Energy Agency). INSAG-7. The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1. 1992.
15. BEA (Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile). AF 447 Final Report. 2012.

16. CRUE (Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas). UniversiTIC 2011: Descripción, Gestión y Gobierno de las TI en el SUE. 2011.

17. RELPE (Red Latinoamericana de Portales Educativos). Fundamentos de RELPE [Internet]. 2004. Available from: http://www.relpe.org/que-es-relpe/fundamentos/

18. Sunkel G, Trucco D, Espe. La integración de las tecnologías digitales en las escuelas de América Latina y el Caribe las escuelas de América Latina y el Caribe Una mirada multidimensional. 2014.

19. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Compendio de prácticas estadísticas sobre las tecnologías de la información y las comunicaciones en América Latina y el Caribe: versión 2014. Director. 2015;(C):2005–7.

20. Chin-Roemer R, DeCrease B, Gomez R. Exploring e-learning development: studies of ICT access and educational usage in Latin America. Inf Dev [Internet]. 2011 Dec 9 [cited 2014 Feb 28];27(4):280–9. Available from: http://idv.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0266666911424076

21. Bhuasiri W, Xaymoungkhoun O, Zo H, Rho JJ, Ciganek AP. Critical success factors for e-learning in developing countries: A comparative analysis between ICT experts and faculty. Comput Educ [Internet]. Elsevier Ltd; 2012 Feb [cited 2014 Feb 25];58(2):843–55. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131511002545

22. Halsted WS. The training of the surgeon. Bull Johns Hopkins Hosp [Internet]. 1904 [cited 2014 Mar 3];15(162):267–75. Available from: http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:The+training+of+the+Surgeon#0

23. Valcke M, De Wever B. Information and communication technologies in higher education: evidence-based practices in medical education. Med Teach [Internet]. 2006 Feb [cited 2014 Feb 28];28(1):40–8. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16627322

24. Kneebone R, Baillie S. Contextualized simulation and procedural skills: a view from medical education. J Vet Med Educ [Internet]. 2008 Jan;35(4):595–8. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19228914

25. Baecker R, Booth K, Jovicic S, McGrenere J, Moore G. Reducing the gap between what users know and what they need to know. In: CUU 2000 CONFERENCE PROCEEDINGS [Internet]. 2000 [cited 2015 Jul 6]. Available from: https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=7&SID=S12EqM6lsNDNMLTHwS5&page=1&doc=5

26. Davis FD. Perceived Usefulness , Perceived Ease Of Use , And User Acceptance of Information Technology. MIS Q [Internet]. 1989;13(3):319–39. Available from: https://www.mendeley.com/catalog/perceived-usefulness-perceived-ease-user-accep/?utm_source=desktop&utm_medium=1.14&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId={8f971dac-bd50-3978-bc33-51ba328c2a6d}

27. Edmunds R, Thorpe M, Conole G. Student attitudes towards and use of ICT in course study, work and social activity: A technology acceptance model approach. Br J Educ Technol [Internet]. 2012 Jan 27 [cited 2014 Feb 18];43(1):71–84. Available from: http://doi.wiley.com/10.1111/j.1467-8535.2010.01142.x

28. Roca JC, Gagné M. Understanding e-learning continuance intention in the workplace: A self-determination theory perspective. Comput Human Behav. 2008;24:1585–604.

29. Baillie S. Utilization of Simulators in Veterinary Training. Cattle Pract. 2007;15(3):244–8.

30. McNaught C, Lam P, Cheng KF. Investigating relationships between features of learning designs and student learning outcomes. Educ Technol Res Dev [Internet]. 2012 Oct 20 [cited 2014 Jan 26];60(2):271–86. Available from: http://link.springer.com/10.1007/s11423-011-9226-1

31. MERLOT (Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching). Herramientas en MERLOT 2012-05-3 [Internet]. 2012. Available from: http://www.merlot.org

32. Luengo-Oroz MA, Arranz A, Frean J. Crowdsourcing malaria parasite quantification: an online game for analyzing images of infected thick blood smears. J Med Internet Res [Internet]. Journal of Medical Internet Research; 2012 Jan 29 [cited 2015 Sep 2];14(6):e167. Available from: http://www.jmir.org/2012/6/e167/

33. Abutarbush SM, Naylor JM, Parchoma G, D'Eon M, Petrie L, Carruthers T. Evaluation of traditional instruction versus a self-learning computer module in teaching veterinary students how to pass a nasogastric tube in the horse. J Vet Med Educ [Internet]. 2006 Jan;33(3):447–54. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17035223

34. Nikolic S. Understanding How Students Use and Appreciate Online Resources in the Teaching Laboratory [Internet]. International Journal of Online Engineering (iJOE). 2015 [cited 2015 Aug 13]. p. 8–13. Available from: http://online-journals.org/index.php/i-joe/article/view/4562

35. Arias Aranda D, Haro Domíguez C, Romerosa Martínez MM. Un enfoque innovador del proceso de enseñanza-aprendizaje en la dirección de empresas: el uso de simuladores en el ámbito universitario An innovative approach to the learning process in management: the use of simulators in higher education. Rev Educ [Internet]. 2010 [cited 2014 Feb 28];707–21. Available from: http://www.ince.mec.es/revistaeducacion/re353/re353_27.pdf

36. Sit JWH, Chung JWY, Chow MCM, Wong TKS. Experiences of online learning: Students' perspective. Nurse Educ Today. 2005;25(2):140–7.

37. Song L, Singleton ES, Hill JR, Koh MH. Improving online learning: Student perceptions of useful and challenging characteristics. Internet High Educ. 2004;7(1):59–70.

38. Pressman RS, Maxim BR. Software Engineering - A practitioner's approach. 8th ed. McGrawHill; 2015.

39. NASA (National Aeronautics and Space Administration). Mariner 1 Related Information / Data at NSSDCA [Internet]. 2015. p. 1–2. Available from: http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=MARIN1

40. NASA (National Aeronautics and Space Administration). Phobos Project Information [Internet]. 2015. Available from: http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/phobos.html

41. ESA (Europear Space Agency). Ariane 5 Flight 501 Failure [Internet]. Report by the Inquiry Board Paris. 1996. p. 1. Available from: http://esamultimedia.esa.int/docs/esa-x-

1819eng.pdf

42. Leveson NG. Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety [Internet]. Vasa. 2011. 555 p. Available from: http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf

43. JPL Special Review Board. Report on the Loss of the Mars Polar Lander and Deep Space 2 Missions. JPL - Calif Inst Technol. 2000;(March).

44. McQuaid PA. Software disasters — understanding the past , to improve the future. J Softw Evol Process. 2010;24(5):459–70.

45. FAA (Federal Aviation Administration). 14 CFR Part 39. 2015.

46. Leveson NG. Safeware: System Safety and Computers. Medical Physics. 1995. 1821 p.

47. Leveson NG. Appendix A - Medical Devices: The Therac-25. In: Safeware: System Safety and Computers. 1995.

48. EPA (United States Environmental Protection Agency). Notice of Violation on Clean Air Act. 2015.

49. Sommerville I. Software Engineering. 9th ed. Addison-Wesley; 2011. 1 - 790 p.

50. Garvin DA. Competing on the Eight Dimensions of Quality. Harv Bus Rev [Internet]. 1987 [cited 2015 Aug 7];65. Available from: https://hbr.org/1987/11/competing-on-the-eight-dimensions-of-quality

51. McCall JA, Richards PK, Walters GF. Factors in Software Quality - Volume 1 - Concept and Definitions of Software Quality. Def Tech Inf Cent [Internet]. 1977;1, 2 and 3(ADA049014):168. Available from: http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA049014

52. Brooks FP. Three great challenges for half-century-old computer science. J ACM [Internet]. 2003 Jan 1 [cited 2015 Aug 8];50(1):25–6. Available from: https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=Y1PGvaveZXpuyEv5nhA&page=1&doc=2

53. ISO/IEC (International Standarization Organization, International Electrotechnical Commission). ISO/IEC 25010:2011 - Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- System and software quality models [Internet]. 2011 [cited 2015 Aug 8]. p. 35. Available from: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=35733

54. Naedele M, Chen H-M, Kazman R, Cai Y, Xiao L, Silva CV a. Manufacturing execution systems: A vision for managing software development. J Syst Softw [Internet]. Elsevier Ltd.; 2015;101:59–68. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0164121214002532

55. Perry DE. A framework for exploring unifying theories of empirical software engineering. Sci Comput Program [Internet]. Elsevier B.V.; 2014;101:1–21. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.scico.2014.11.011

56. Martínez Y, Cachero C, Meliá S. MDD vs. traditional software development: A practitioner's subjective perspective. Inf Softw Technol [Internet]. 2013 Feb [cited 2015

Apr 20];55(2):189–200. Available from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584912001309

57. Fowler M. UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language [Internet]. 3rd ed. Addison-Wesley; 2003 [cited 2015 Jul 1]. 208 p. Available from: https://www.goodreads.com/book/show/85001.UML_Distilled

58. Peischl B, Ferk M, Holzinger A. The fine art of user-centered software development. Softw Qual J [Internet]. Springer US; 2014;(May 2014):509–36. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/s11219-014-9239-1

59. Nielsen J, Landauer TK. A mathematical model of the finding of usability problems. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '93 [Internet]. New York, New York, USA: ACM Press; 1993 [cited 2015 Apr 6]. p. 206–13. Available from: http://dl.acm.org/citation.cfm?id=169059.169166

60. Borsci S, Macredie RD, Barnett J, Martin J, Kuljis J, Young T. Reviewing and Extending the Five-User Assumption. ACM Trans Comput Interact [Internet]. 2013 Nov 1 [cited 2015 Jul 6];20(5):1–23. Available from: https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=S12EqM6lsNDNMLTHwS5&page=1&doc=1

61. Bastien JMC. Usability testing: a review of some methodological and technical aspects of the method. Int J Med Inform [Internet]. 2010 Apr [cited 2015 Mar 3];79(4):e18–23. Available from: http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=S12EqM6lsNDNMLTHwS5&page=1&doc=3

62. OSI (Open Source Initiative). The Open Source Definition [Internet]. opensource.org. 2015. Available from: http://opensource.org/docs/osd

63. Anderson T. The theory and practice of online learning [Internet]. 2nd ed. Anderson T, editor. AU Press, Athabasca University; 2008 [cited 2014 Mar 1]. 472 p. Available from: http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=RifNwzU3HR4C&oi=fnd&pg=PA91&dq=The+Theory+and+Practice+of+Online+Learning&ots=SeelMjQUuv&sig=5_dZYGrSqkfnxq4GW14iOeCDNSI

64. Barker D, Ferrier DE, Holland PW, Mitchell JB, Plaisier H, Ritchie MG, et al. 4273π: bioinformatics education on low cost ARM hardware. BMC Bioinformatics [Internet]. BMC Bioinformatics; 2013;14(1):243. Available from: http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3751261&tool=pmcentrez&rendertype=abstract

65. Kusbeyzi I, Hacinliyan a., Aybar OO. Open source software in teaching mathematics. Procedia - Soc Behav Sci [Internet]. Elsevier B.V.; 2011;15:769–71. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.03.181

66. Beck K. Test-driven Development: By Example [Internet]. 2003 [cited 2015 Aug 10]. Available from: https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=goE1TL0u0dUC&pgis=1

67. Langdon WB, Harman M. Optimizing Existing Software With Genetic Programming. IEEE Trans Evol Comput [Internet]. IEEE; 2015 Feb 1 [cited 2015 Aug 3];19(1):118–

35. Available from: http://ieeexplore.ieee.org/articleDetails.jsp?arnumber=6733370

68. Kaneene JB, Ross WA, Miller R. The Michigan equine monitoring system. II. Frequencies and impact of selected health problems. Prev Vet Med [Internet]. 1997 Feb [cited 2015 May 26];29(4):277–92. Available from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016758779601080X

69. Gunning P, Smith A, Fox V, Bolt DM, Lowe J, Sinclair C, et al. Development and validation of an equine nerve block simulator to supplement practical skills training in undergraduate veterinary students. Vet Rec [Internet]. BMJ Publishing Group Limited; 2013 Apr 27 [cited 2015 May 26];172(17):450. Available from: http://veterinaryrecord.bmj.com/content/172/17/450.full

70. López de Çamora P. Libro de Albeyteria qve tracta del principio y generacion de los Cauallos, hasta su vejez : y assi mesmo los remedios para curar sus enfermedades, y de las mulas, y otros animales... / compuesto por Pero Lopez de Çamora... [Internet]. 1st ed. Pamplona: Thomas Porralis de Saboya; 1571 [cited 2015 Aug 19]. 200 p. Available from: http://www.cervantesvirtual.com/obra/libro-de-albeyteria-qve-tracta-del-principio-y-generacion-de-los-cauallos-hasta-su-vejez-y-assi-mesmo-los-remedios-para-curar-sus-enfermedades-y-de-las-mulas-y-otros-animales/

71. Paracuellos M de. Libro de Albeyteria : en el cual se contienen muchas cosas curiosas y provechosas para los Albeytares, De la notomia, y composicion de la cabeza, Arte de herrar [Internet]. Jaime Magallón; 1702. 218 p. Available from: http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/1911?show=full

72. Percivall W. Hippopathology : a systematic treatise on the disorders and lamenesses of the horse, with their most approved methods of cure ; embracing the doctrines of the English and French veterinary schools ; the opinions of Professors Coleman and Spooner, Dirrecto [Internet]. London; 1849. 514 p. Available from: http://www.biodiversitylibrary.org/item/67228

73. Liautard AFA. Lameness of horses and diseases of the locomotory apparatus, by A. Liautard [Internet]. 1888. 324 p. Available from: http://www.biodiversitylibrary.org/item/93660

74. Dabareiner RM, Cohen ND, Carter GK, Nunn S, Moyer W. Lameness and poor performance in hourses used for team roping : 118 cases (2000 – 2003). J Am Vet Med Assoc [Internet]. 2005 [cited 2014 Feb 28];226(10):1694–9. Available from: http://avmajournals.avma.org/doi/abs/10.2460/javma.2005.226.1694

75. Putnam JRC, Holmes LM, Green MJ, Freeman SL. Incidence, causes and outcomes of lameness cases in a working military horse population: a field study. Equine Vet J [Internet]. 2014 Mar 1 [cited 2015 May 26];46(2):194–7. Available from: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/evj.12084/full

76. Jorgensen JS, Genovese RL, Döpfer D, Stewart MC. Musculoskeletal lesions and lameness in 121 horses with carpal sheath effusion (1999-2010). Vet Radiol Ultrasound [Internet]. 2015 May [cited 2015 May 26];56(3):307–16. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25572121

77. Dabareiner RM, Cohen ND, Carter GK, Nunn S, Moyer W. Musculoskeletal problems associated with lameness and poor performance among horses used for barrel racing: 118 cases (2000-2003). J Am Vet Med Assoc [Internet]. 2005 Nov 15;227(10):1646–50.

Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16313045

78. Egenvall A, Bonnett B, Wattle O, Emanuelson U. Veterinary-care events and costs over a 5-year follow-up period for warmblooded riding horses with or without previously recorded locomotor problems in Sweden. Prev Vet Med [Internet]. 2008 Feb 1 [cited 2014 Mar 1];83(2):130–43. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17681389

79. EAEVE (European Association of Establishments for Veterinary Education). ANNEX IV LIST OF RECOMMENDED ESSENTIAL COMPETENCES AT GRADUATION : " DAY-ONE SKILLS ." 2009;(May):85–8.

80. Ross MW, Dyson SJ. Diagnosis and Management of Lameness in the Horse [Internet]. Diagnosis and Management of Lameness in the Horse. Elsevier; 2011. 1504 p. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-7216-8342-3.50060-7

81. Denoix JM. Approche sémiologique des boiteries chez le cheval: sémiologie de base, tests de mobilisation, anestesies nerveuses. In: EPU Boiteries chez le cheval. Maisons-Alfort: Ed. L'Ecole Nationale Vétèrinaire d'Alfort; 1992.

82. Aggarwal R, Darzi A. Technical-skills training in the 21st century. N Engl J Med [Internet]. 2006 Dec 21;355(25):2695–6. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17182997

83. Baxter GM. Adams and Stashak'S Lameness in Horses Sixth Edition [Internet]. 6th ed. Equine Veterinary Education. 2011 [cited 2015 May 27]. Available from: http://doi.wiley.com/10.1111/j.2042-3292.2011.00265.x

84. Baxter GM. Manual of Equine Lameness [Internet]. 1st ed. Wiley-Blackwell; 2011. 468 p. Available from: http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf

85. AAEP (American Association of Equine Practitioners). Lameness exams, Evaluating the Lame Horse. 1995.

86. Denoix JM. Anesthésies nerveuses tronculaires dans le diagnostic des boiteries chez le cheval. Recl Med Vet [Internet]. 1995 [cited 2015 May 25];171(10-11):701–6. Available from: http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=W1oDvvvQevRYVgJowhF&page=2&doc=16

87. Schumacher J, Schumacher J, Schramme MC, DeGraves F, Smith RK. Diagnostic Analgesia of the Equine Foot. In: Floyd AE, Mansmann RA, editors. Equine Podiatry. 1st ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2007. p. 464.

88. Valdés-Martinez A, Park RD. Diagnostic Procedures - Radiology. In: Baxter GM, editor. Adams and Stashak's Lameness in Horses [Internet]. 6th ed. 2011. p. 207–337. Available from: http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0813815495.html

89. INE (Instituto Nacional de Estadística). Encuesta sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares. 2014.

90. W3Schools. Browser Display Statistics [Internet]. 2015 [cited 2015 Sep 1]. Available from: http://www.w3schools.com/browsers/browsers_display.asp

91. Akamai. Connectivity Visualizations | Internet Speeds, Broadband Adoption [Internet].

2015 [cited 2015 Sep 1]. Available from: https://www.stateoftheinternet.com/trends-visualizations-connectivity-global-heat-map-internet-speeds-broadband-adoption.html

92. Aomedia. Alliance for Open Media [Internet]. 2015. Available from: http://aomedia.org

93. W3C (World Wide Web Consortium). W3C HTML Activity Statement [Internet]. 2015. Available from: http://www.w3.org/html/Activity.html

94. Parente E, Gober M, Mazin R, Murphy J, Hobday M. Equine Lameness Diagnosis Website. 2001.

95. Donovan BM. Putting humanity back into the teaching of human biology. Stud Hist Philos Sci Part C Stud Hist Philos Biol Biomed Sci [Internet]. Elsevier Ltd; 2015;52:65–75. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369848615000138

96. Icken W, Bennewitz J. Analyse von Auktionsdaten der Pferdezucht und Einflussfaktoren auf die Preisbildung. Züchtungskunde. 2007;79(2):111–8.

97. ANCCE. Asociación Nacional de Criadores de Caballos de Pura Raza Española [Internet]. 2015. Available from: http://www.ancce.es/

98. Sponenberg DP. Equine Color Genetics. 3rd ed. Sponenberg P, editor. Ames: Wiley-Blackwell; 2009. 277 p.

99. Shea N a., Duncan RG, Stephenson C. A Tri-part Model for Genetics Literacy: Exploring Undergraduate Student Reasoning About Authentic Genetics Dilemmas. Res Sci Educ [Internet]. 2015;45(4):485–507. Available from: http://link.springer.com/10.1007/s11165-014-9433-y

100. Rieder S. Molecular tests for coat colours in horses. J Anim Breed Genet [Internet]. 2009 Dec [cited 2015 May 25];126(6):415–24. Available from: http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=11&SID=U1UinnrK2aKKbtGYQXf&page=1&doc=12

101. Castle WE. Coat Color Inheritance in Horses and in Other Mammals. Genetics. 1954;39(1):35–44.

102. Bowling AT, Ruvinsky A. The genetics of the horse. 1st ed. New York: CABI Publishing; 2000. 543-569 p.

103. Thiruvenkadan AK, Kandasamy N, Panneerselvam S. Coat colour inheritance in horses. Livestock Science. 2008. p. 109–29.

104. Toth Z, Kaps M, Sölkner J, Bodo I, Curik I. Quantitative genetic aspects of coat color in horses. J Anim Sci. 2006;84(10):2623–8.

105. Alía MJ. Herencia de las capas en el caballo. In: Gómez-Cuétara Aguilar C, Cañón Ferreras J, editors. Equino, Aspectos de Cría y Clínica. Madrid: Publex Studio SL; 1996. p. 11–32.

106. Gower J. Horse Color Explained. 1st ed. Gower J, editor. North Pomfret: Trafalgar Square Publishing; 1999. 144 p.

107. Eizirik E, David V a., Buckley-Beason V, Roelke ME, Schaffer a. a., Hannah SS, et al. Defining and Mapping Mammalian Coat Pattern Genes: Multiple Genomic Regions Implicated in Domestic Cat Stripes and Spots. Genetics [Internet]. 2010;184(1):267–75. Available from: http://www.genetics.org/cgi/doi/10.1534/genetics.109.109629

108. Mendel G, Bateson W. Experiments in Plant Hybridization (EN transl.). J R Hortic Soc [Internet]. 1901;26(1865):3–47. Available from: http://www.esp.org/foundations/genetics/classical/gm-65.pdf

109. Nicholas FW, Mäki-Tanila a. An important anniversary: 150 years since Mendel's laws of inheritance made their first public appearance. J Anim Breed Genet [Internet]. 2015;132(4):277–80. Available from: http://doi.wiley.com/10.1111/jbg.12175

110. Castle WE. Mendel's Law of Heredity. Science. 1903;18(456):396–406.

111. Phillips PC. The language of gene interaction. Genetics. 1998;149(3):1167–71.

112. Pearson K. Further Remarks on the Law of Ancestral Heredity. Biometrika. 1911;8(3):239–43.

113. Fisher RA. The Correlation between Relatives on the Supposition of Mendelian Inheritance. Trans R Soc Edinburgh [Internet]. 1919;52:399–433. Available from: http://journals.cambridge.org/abstract_S0080456800012163

114. Bailey E. Genetics After Twilight. J Equine Vet Sci [Internet]. Elsevier Ltd; 2015;35(5):361–6. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0737080615003457

115. Mau C, Poncet P a., Bucher B, Stranzinger G, Rieder S. Genetic mapping of dominant white (W), a homozygous lethal condition in the horse (Equus caballus). J Anim Breed Genet. 2004;121(6):374–83.

116. Locke MM, Ruth LS, Millon L V., Penedo MCT, Murray JD, Bowling a. T. The cream dilution gene, responsible for the palomino and buckskin coat colours, maps to horse chromosome 21. Anim Genet. 2001;32(6):340–3.

117. Van Vleck L, Davitt M. Confirmation of a gene for dominant dilution of horse colors. J Hered [Internet]. 1977 [cited 2015 May 25];68(5):280–2. Available from: http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=Y1YNDFKGWePatWU9CFW&page=1&doc=1

118. Krapp A. Interest, motivation and learning: An educational-psychological perspective. Eur J Psychol Educ. 1999;14(1):23–40.

119. Hamari J, Shernoff DJ, Rowe E, Coller B, Asbell-Clarke J, Edwards T. Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. Comput Human Behav [Internet]. Elsevier Ltd; 2016;54:170–9. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S074756321530056X

120. O'Keefe PA, Linnenbrink-Garcia L. The role of interest in optimizing performance and self-regulation. J Exp Soc Psychol [Internet]. Elsevier Inc.; 2014;53:70–8. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jesp.2014.02.004

121. Domínguez A, Saenz-De-Navarrete J, De-Marcos L, Fernández-Sanz L, Pagés C, Martínez-Herráiz JJ. Gamifying learning experiences: Practical implications and outcomes. Comput Educ [Internet]. Elsevier Ltd; 2013;63:380–92. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.020

122. Amir Haeri M, Ebadzadeh MM, Folino G. Improving GP generalization: a variance-based layered learning approach. Genet Program Evolvable Mach [Internet]. 2014;16(1):27–55. Available from: http://link.springer.com/10.1007/s10710-014-9220-6

123. Twomey A. Web-based teaching in nursing: Lessons from the literature. Nurse Educ Today. 2004;24(6):452–8.

124. Norman E, Furnes B. The relationship between metacognitive experiences and learning: Is there a difference between digital and non-digital study media? Comput Human Behav [Internet]. Elsevier Ltd; 2016;54:301–9. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0747563215300546

125. Seaborn K, Fels DI. Gamification in Theory and Action: A Survey. Internatoinal J Human-Computer Stud. 2014;74:14–31.

126. Denny P. The effect of virtual achievements on student engagement. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '13 [Internet]. New York, New York, USA: ACM Press; 2013 [cited 2015 Sep 15]. p. 763. Available from: http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2470654.2470763

127. Hamari J. Transforming homo economicus into homo ludens: A field experiment on gamification in a utilitarian peer-to-peer trading service. Electron Commer Res Appl [Internet]. Elsevier B.V.; 2013;12(4):236–45. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.elerap.2013.01.004

128. De-Marcos L, Domínguez A, Saenz-De-Navarrete J, Pagés C. An empirical study comparing gamification and social networking on e-learning. Comput Educ [Internet]. Elsevier Ltd; 2014;75:82–91. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2014.01.012

129. Hamari J, Koivisto J. Why do people use gamification services? Int J Inf Manage [Internet]. Elsevier Ltd; 2015;35(4):419–31. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268401215000420

130. Kimmel K, Volet S. Significance of context in university students' (meta)cognitions related to group work: A multi-layered, multi-dimensional and cultural approach. Learn Instr [Internet]. Elsevier Ltd; 2010;20(6):449–64. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.05.004

131. Fernández-Breis JT, Castellanos-Nieves D, Valencia-García R. Measuring individual learning performance in group work from a knowledge integration perspective. Inf Sci (Ny). 2009;179(4):339–54.

132. Smith GG, Sorensen C, Gump A, Heindel AJ, Caris M, Martinez CD. Overcoming student resistance to group work: Online versus face-to-face. Internet High Educ [Internet]. Elsevier Inc.; 2011;14(2):121–8. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.iheduc.2010.09.005

133. Posey L, Pintz C. Online teaching strategies to improve collaboration among nursing students. Nurse Educ Pr [Internet]. 2006;6(6):372–9. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=19040904

10
Anexos

"Me hace feliz que estés aquí conmigo. Aquí, al final de todas las cosas"

JRR Tolkien
El Señor de los Anillos

Imagen Original: Official U.S. Navy Page. Flickr

Resultados encuestas Traumatología, Ortopedia y Podología

Resultados encuestas Clínica Hospitalaria Veterinaria

Proyectos, congresos, libros y reconocimientos

Evolución de los lenguajes Open Source de programación a lo largo de la historia

10.1 Resultados encuestas Traumatología, Ortopedia y Podología

- Sexo: Mujer 75%, Hombre 25%
- Consideras globalmente la experiencia del simulador como algo: Muy útil 61,11%, Útil 38,89%, Poco útil, Nada útil
- ¿Crees que el simulador puede ayudar activamente en la formación de alumnos que no tengan ningún conocimiento en el diagnóstico de cojeras en caballos? Sí 83,33%, No 16,67%
- ¿Crees que el simulador puede ayudar activamente en la formación de profesionales con una base básica en el diagnóstico de cojeras en caballos? Sí 97,22%, No 2,78%
- ¿Crees que el simulador puede ayudar activamente en la formación de profesionales con una base avanzada en el diagnóstico de cojeras en caballos? Sí 45,71%, No 54,29%
- Como alumno, ¿cómo consideras que debería utilizarse el simulador? Solo, sin más apoyos, Como un complemento al aprendizaje con animales 100%, No debería utilizarse
- ¿Cuándo crees que resulta más útil el simulador? Antes de haber visto animales vivos o teoría al respecto, Antes de haber visto animales pero tras el estudio de la teoría 44,44%, Después de haber visto tanto animales como teoría 55,56%
- ¿Crees que tras el uso de esta herramienta tus conocimientos han mejorado, y que tienes más claros tus conceptos sobre este tema? Sí 100%, No
- ¿Qué tipo de clínica te gustaría realizar cuando finalices tus estudios? Pequeños animales 65,22%, Exóticos 17,93%, Animales de abasto 4,35%, Équidos 4,35%, Mixto (Grandes y Pequeños animales) 8,7%

10.2 Resultados encuestas Clínica Hospitalaria Veterinaria

- ¿Ha cubierto esta práctica sus espectativas? Sí 97,33%, No 2,67%
- Valore de 0 a 5, siendo 0 nada y 5 mucho, los conocimientos adquiridos durante la práctica: 4,09
- Valore de 0 a 5 la implicación del docente en la práctica: 4,72
- Respecto al grado de participación elija una opción: He sido un mero espectador, Ha habido pocas oportunidades de participar (2; 2,67%), He participado poco porque la especie de la práctica no es a la que voy a dedicarme (5; 6,67%), He participado activamente (68; 90,67%)
- ¿Cree conveniente realizar más horas prácticas? Sí, sin duda esta especie tiene pocas horas prácticas durante la carrera (25; 33,33%), Sí, aunque no es mi intención dedicarme a esta especie (28; 37,33%), No, las horas dedicadas son suficientes (22; 29,33%)
- Tras realizar la práctica, valore de manera crítica los conocimientos previos con los que la realizó: Eran prácticamente inexistentes (10; 13,33%), Eran insuficientes pero he podido seguir la práctica (43; 57,33%), Eran mayores de lo que pensaba (20; 26,67%), El nivel de

los conocimientos requeridos estaba por debajo del nivel con el que fui a la práctica (2; 2,67%)

- En este espacio resalte lo más significativo de la práctica (aspectos positivos o negativos)
  - Una práctica necesaria y básica aunque no te vayas a dedicar a caballos. Está muy bien planteada, aunque (esto sirve para todas las prácticas de caballos) después de 4 años sin apenas hablar de caballos, no se pueden hacer milagros, normal que Paco desespere..
  - Muy interesante.
  - Ninguno
  - positivo: muy buen programa negativo: nada
  - Aprendizaje interactivo
  - Ha sido muy educativa, la verdad es que es muy buena idea
  - Aspectos positivos: sirvió para entender mucho mejor el diagnóstico de las cojeras y para comprobar realmente si hemos comprendido como diagnosticarlas. Aspectos negativos: creo que deberia hacerse otra practica mas sobre diagnostico de cojeras.
  - Me pareció una práctica muy interesante y útil para saber un poco más sobre la cojeras de équidos. Además es muy útil el simulador de cojeras, ya que ayuda a entender con más claridad esta patología
  - Es muy didáctico el simulador de cojeras, me gustaría que se hicieran más cosas similares.
  - Me gusto mucho la practica ya que pudimos comprobar in situ como realizabamos las anestesias
  - Positivo: es una buena forma de ver varios casos de cojeras
  - recuerdo de anatomia olvidada
  - Sirve para ponerse en situación ante un posible caso clínco que nos pudiese aparecer a nosotros como veterinarios de équidos.
  - En el simulador me he llegado a aburrir. Sin embargo me ha parecido muy interesante la parte anterior.
  - Aprendes a relizar en primera persona un examen de cojeras estático y dinámico, aunque no contamos con una preparación muy buena en ese campo. Es bueno que nos aporten información acerca de las cojeras de caballos y su diagnóstico
  - Se adquieren conocimientos basicos e importantes.
  - Es una práctica completa y el simulador de cojeras la enriquece mucho por sus diferentes casos, es una gran ventaja que esté a disposición de los alumnos.
  - lo bueno es el programa que utilizamos, fue muy practico
  - BIEN ORGANIZADA.

- Nos habian dejado una buena documentación para leer antes de la práctica antes de enfrentarnos a ella. Después todo lo hemos hecho con el animal, se aprende mas viendo y haciendo que escuchando.
- Hubiese preferido hacer dos o tres diagnósticos de cojeras en caballos reales pero hay que reconocer que el programa esta muy bien.
- Creo que deberian hacerse mas horas practicas, ya que la traumatologia y ortopedia es algo importante en caballos, pero creo que seria mejor hacerlo con el caballo delante..
- Me parece una practica muy útil
- Está muy bien esta práctica porque realmente de cojeras durante la carrera no nos han hablado, casi casi ni en anatomía y ha sido algo nuevo y muy positivo. Las cojeras son importantes y está bien conocer más cosas de équidos
- Se aprende a diagnosticar un problema de cojeras
- está bien que todos los alumnos podamos realizar un diagnóstico de cojeras. Lo malo es que solo podamos diagnosticar las cojeras por el simulador, aunque hay que decir que el simulador está muy bien creado, y es de ayuda.
- Es una práctica muy útil que ya la teníamos que haber echo en cursos anteriores
- Me parece que esta práctica es esencial ya que los caballos tienen muchos problemas de cojeras
- Deberia haber más horas de prácticas y teoría para esta especie
- El trabajo que lleva la fabricacion del simulador (bien por javi), es un aspecto muy positivo que permite ver casos en ausencia de casos clinicos reales. La entrega del profesorado es absoluta y este año las practicas de caballos estan muy bien montadas para aprender y seguirlas a pesar de nuestra falta de base.
- es una practica muy util,ya al final de la practica creo que podriamos llegar a, al menos saber si el animal cojea
- Me pareció muy buena idea lo del uso de un simulador de cojeras… porq si tenemos que esperar a que vengan animales a ver todos los tipos de cojeras… nunca las veríamos todas!!!
- aprender a detectar cojeras
- Las practicas de simuladores han estado bien todas porque asi hemos podido ver mas casos en menos tiempo y realmente aprendes que es lo que deberias hacer para diagnosticar una cojera.
- Las horas prácticas de caballos se deberían hacer en cursos anteriores. De lo más significativo: se nos han explicado cuatro conceptos clave y con un repaso, creo que los llevamos bien aprendidos. Aspectos negativos: no hay.
- Nada
- estuvo bien pero hace tanto que ya ni me acuerdo de los detalles

- La práctica me ha parecido muy importante, ya que previamente en la carrera apentas habiamos tenido contacto con estas patologias. Además, sabiendo que en la clínica equina las cojeras son muy frecuentes me parece imprescindible una práctica (mejor si fuesen más) de estas caracteristicas.
- El simulador de cojeras ayuda a ver como actuar ante un caso real.
- Realizar el diagnóstico de cojeras en la práctica te ayuda a asentar conceptos y a hacerte una idea de como se realiza y qué buscamos en cada parte del examen. Sin embargo, esta práctica para mí en particular resultó difícil supongo que por la falta de experiencia. (Me resulta muy difícil, y muchas veces si no me dicen dónde debo observar, NO VEO LA COJERA)
- Entretenida y aprendías.
- El programa de cogeras con el que hicimos la practica es muy práctico
- Está muy bien el programa informático que se utiliza porqué así se puede ver más patología y aprnder a diagnosticar más.
- Este simulador es un buen método de aproximarse al diagnóstico de cojeras para luego verlas en casos in situ. Además el programa informático está muy bien desarrollado.
- Creo q la labor de los profesores ha sido buena puesto que se implican muchísimo en que aprendamos, como poco, lo básico. Y yo voe dos inconvenientes, de los cuales ellos nos son culpables: 1. Los poquísimos conocimientos con los que llegamos a 5º, ya que creo q la labor docente de otros profesores de la casa en materia de équidos es muy deficiente. 2. Que en mi caso, por ejemplo, los caballos me dan respeto, casi miedo, y casi estoy más pendiente del manejo de los animales que de diagnosticar cojeras. No deberíamos llegar a 5º con esos problemas.
- Viene muy bien los apuntes que deja el profesor para llegar con conocimientos a la práctica, ya que sino serían casi nulos, y es muy útil a mi parecer, ya que al tratarse de prácticas en cadáver se realizan con menos tensión y permite aprender más
- Aspectos positivos: poder practicar las anesterias para diagnóstico de cojeras y ver el resultado hasta llegar al diagnóstico. Aspectos negativos: -
- El aspecto positivo es tener que estudiarse la anatomía del caballo de nuevo y como funcionan las técnicas.
- No está mal el simulador de cojeras pero creo que no se aprende gran cosa con los métodos informáticos, ni en esta asignatura ni en ninguna otra.
- Como aspectos positivos destaca el tener un conocimiento base sobre cojeras en caballos, ya que a lo largo de la carrera no hemos visto casos clínicos de cojeras
- Durante esta práctica repasé conocimientos que ya poseía y, aprendí otros nuevos, como por ejemplo, la exploración correcta de la función articular. Con el simulador pudimos poner en práctica la metodología que deberíamos seguir ante un caso real de cojera en un animal. Creo que, aunque hubiera estado bien que toda la práctica fuera con un animal vivo, el simulador nos acercó mucho a esa situación.
- La verdad que la práctica se hizo un poco pesada, pero fue muy provechosa.

- Preferiría no usar el simulador y ver los caballos en vivo aunque entiendo que no hay tiempo suficiente.
- Creo que es una practica que peude ser muy util, pero dado de que no podia seguir la practica por no entender muxas cosas que me explicaban me evadia un poco de la misma. Aunque tambien reconozco que como es la unica especie que tengo claro que no me voy a dedicar, quizas tampoco le he prestado muxa atencion. Creo que tampoco hay que incidir mas, por lo menos en loq ue respecta nuestro plan de estudios, tenemos tantas horas de teoria practica y todo que acabas saturado, a pesar de que algunas horas horas de teoria o practica que tenemos no valen para nada, pero bueno.
- ha sido interesante y provechosa esta práctica de diagnóstico de cojeras, es en la única práctica en la que hemos podido participar algo.
- Hubiera preferido casos reales en vez de simuladores
- Me pareció muy práctico e interesante el simulador de cojeras, y está bien el poder acceder a el después.
- Me parece bien que se dediquen horas de prácticas al diagnóstico de cojeras pero el problema es que la mayoría de los alumnos ya no se acuerda del todo de las estructuras anatómicas del caballo y por ello debería haber más prácticas de estas en cursos anteriores para que no se te olviden los conocimientos.
- Me parece muy bien que se haya realizado la práctica porque nunca tenemos oportunidades de hacer este tipo de cosas si no es fuera de la universidad, pero lo que no me gusta es que haya que hacerlo con un simulador y no podamos ver casos realies, que sería lo que nos dejaría los conocimientos más claros.
- La práctica ha estado muy bien porque las cojeras son una patología muy importante en los équidos. Creo que el programa ayuda bastante a la comprensión y aprendizaje de este tipo de procesos y además antes de la práctica en el ordenador hay una parte que es con los caballos por lo que podemos aprender a realizar el examen estático y dinámico nosotros mismos.
- el simulador de cojeras me ha gustado menos
- me ha gustado mucho el simulador, creo que es un programa que nos ayuda mucho para aprender sobre las cojeras
- Más horas prácticas de esta especie
- es una parte basica en caballos por lo que creo que es importante dar esta practica ya que durante la carrera han habido muy pocas practicas sobre esto. el programa de ordenador estaba muy bien
- muy entretenida y aclaratorio. además para otras asignaturas, como trauma, es de gran ayuda
- el simulador me pareció un programa muy interesante para estudiar el diagnóstico de cogeras. practicar el diagnóstico de cogeras con caballos in vivo me parece muy interesante ya que nos permite poner en practica los conocimientos teóricos y apender a realizar correctamente las pruevas

- Es un tema complicadisimo y requiere mucho conocimiento e incluso algo de experiencia para saber diagnosticar. Si los caballos no son tu fuerte, se hace un poco complicado
- Ver casos reales de cojeras en caballos me ha gustado mucho, porque nos obliga involucrarnos y a utilizar todos los conocimeintos adquiridos. la pena esque hay pocos casos para diagnosticar in situ.
- Nunca antes habíamos tratado con caballos, y menos como diagnósticar una cojera, así que me ha parecido muy interesante y educativa, hemos participado activamente. Hemos aprendido a manejar las extremidades de los caballos y a realizar las distintas pruebas diagnósticas de cojera sobre ellos.
- Lo más positivo es el programa de simulación que esta muy bien hecho
- El profesorado nos ha ayudado mucho a entender la patología de las cojeras y a como deben realizarse las pruebas diagnosticas reforzando y mucho los conocimientos teóricos.
- me ha parecido muy interesante tanto la parte dinamica como el simulador que es algo muy interesante sobre todo si no hay casos.
- ver como se diagnostican casos de cojeras que hasta el momento no habiamos visto. ver el grado de dificultad que esto supone, por la falta de experiencia y mas si no se ha podido cursar la asignatura de traumatología y la anatomia no la hemos tocado desde primer curso. ver donde y como se ponen anestesicos para el diagnostico de las cojeras y el por qué. ver distintos casos de cojeras y la identificacion de la extremidad afectada, en distintos terrenos.

En este espacio puede realizar alguna recomendación que cree puede mejorar la práctica

- Se deben mantener estas practicas y no se debe reducir las horas dedicadas a esta practica
- más horas a lo largo de la carrera.
- Yo creo que se podría mejorar si se organizaran más prácticas con casos clinicos de verdad.
- no tengo ninguna recomendacion
- ha estado bien
- A nivel general, de todas las prácticas de todas las especies, comentar que creo que sería muy interesante que cada uno eligiese 1-2-3 especies que más le interesan para su futuro y realizará más horas de prácticas en estas especies que en el resto ya que en un principio son las especies a las que piensa encaminar su futuro profesional.
- Quizá la información precia que debíamos preparar era excesiva para la práctica en sí, nos pedían aspectos más concretos.
- MÁS HORAS PRÁCTICAS.
- Es una práctica que "llega tarde", pero de eso no tienen culpa los docentes, sino el plan de estudios. El contenido en sí, y las cuatro cosas que nos enseñan son adecuadas y además; "se lo curran" para que por lo menos salgamos con eso aprendido.

- Aunque no me gusta mucho esta especie, considero que las cojeras son muy importantes y que debería de haber más prácticas como esta; y sino pueden ser obligatorias, quizás para los que quisieran.
- Tener una preparación teórica previa en clase
- dar clases teoricas previas

10.3 **Proyectos, congresos, libros y reconocimientos**

Además de las aplicaciones funcionales introducidas en el *curriculum* docente de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza, el desarrollo de estas aplicaciones ha dado lugar a varias presentaciones en congresos, capítulos de libros y reconocimientos.

10.3.1 *Proyectos de Innovación Docente*

- PESUZ_08_4_076: Utilización de herramientas TIC en nuevas metodologías de aprendizaje, "Simulador Multimedia para la mejora del aprendizaje del diagnóstico de cojeras en caballos". Convocatoria Innovación docente 2008-2009.
- PESUZ_09_5_474: Utilización de herramientas TIC en nuevas metodologías de aprendizaje, "Simulador del control genético de las capas en caballos: una nueva metodología interactiva para el aprendizaje de las bases de la herencia". Convocatoria de Innovación docente 2009-2010.
- PESUZ_10_5_391: Utilización de herramientas TIC en nuevas metodologías de aprendizaje, "Simulador del control genético de las capas en caballos: ampliación de la aplicación y evaluación de su potencial docente". Convocatoria de Innovación docente 2010-2011.
- PESUZ_12_1_450: "Desarrollo de una aplicación informática para aprender clínica y producción equina jugando al trivial: Liga entre cuatro facultades de Veterinaria". Convocatoria de Innovación docente 2012-2013.

10.3.2 *Presentación a congresos*

- Febrero 2008, Zaragoza: II Jornadas de Innovación Docente, Tecnologías de la Información y la Comunicación e Investigación Educativa en la Universidad de Zaragoza. "Desarrollo de un simulador multimedia para la mejora del diagnóstico de cojeras en caballos". Vázquez FJ, Romero A, **Gómez-Arrue J**, de Blas I, Viloria A.
- Abril 2008, Zaragoza: XVI Congreso Internacional de la Sociedad Española de Cirugía Veterinaria (SECIVE). "Desarrollo de un simulador multimedia para la mejora del diagnóstico de cojeras en caballos". Vázquez FJ, Romero A, **Gómez-Arrue J**, Zabarte A, Viloria A.
- Octubre 2008, Zaragoza: 2nd Symposium on Veterinary Sciences - Zaragoza-Toulouse-München. "New ways for teaching: development of computerized simulators in equine medicine" Vázquez FJ, Romero A, **Gómez-Arrue J**, de Blas I, Viloria A.
- Febrero 2010, Zaragoza: IV Jornadas de Innovación Docente, TIC e Investigación Educativa de la Universidad de Zaragoza. "Enseñanza de la genética mediante simuladores". Romero A, Vázquez FJ, **Gómez-Arrue J**, Martín I, Zarazaga I, Zaragoza P, Rodellar C, Osta R.

- Septiembre 2010, Lima: XXII Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. "Experiencias Sobre El Aprendizaje En Veterinaria Basado En Tics: Dos Ejemplos Paradigmáticos". De Blas I, Vázquez FJ, **Gómez-Arrue J**, Romero A, Ruiz-Zarzuela I.

- Septiembre 2011, Córdoba: I Congreso de Docencia e Innovación Docente en Medicina y Cirugía Animal. "Aprendizaje activo del diagnóstico de cojeras en caballos: una experiencia docente que combina tics, biomodelos y casos reales" Vázquez FJ, Romero A, **Gómez-Arrue J**, Zalaya J, Vitoria A, Ardanaz N, De Blas I.

- Septiembre 2011, Zaragoza: II Jornada de Buenas Prácticas en la docencia universitaria con uso de las TIC. "Aprendizaje activo del diagnóstico de cojeras en caballos: una experiencia docente que combina tics, biomodelos y casos reales" Vázquez FJ, Romero A, **Gómez-Arrue J**, Zalaya J, Vitoria A, Ardanaz N, De Blas I.

- Noviembre 2013, Sevilla: XIV Congreso Internacional De Medicina Y Cirugía Equina. "Desarrollo De Una Aplicación Informática Para Aprender Clínica Y Producción Equina Jugando Al Trivial". Alonso De Diego M, Ardanaz N, Barrachina L, Cunilleras EJ, De Blas I, De Vega A, Del Valle A, Gil L, Gironés O, **Gómez-Arrue J**, Gómez-Lucas R, Gracia-Salinas MJ, López-San Román J, Luján Ll, Muniesa A, Prades M, Ribera T, Rodellar C, Rodríguez I, Romero A, Santiago I, Vázquez FJ, Vitoria A, Viu J, Zalaya J.

- Febrero 2014, Madrid: I Jornadas Nacionales de Innovación Docente en Veterinaria. "Desarrollo de una aplicación informática para aprender clínica y producción equina jugando al trivial". Alonso de Diego M(1), Ardanaz N(4), Barrachina L(4), Cunilleras EJ(2), de Blas I(4), de Vega A(4), del Valle A(4), Gil L(4), Gironés O(4), **Gómez-Arrue J**(4), Gómez-Lucas R(1), Gracia-Salinas MJ(4), López-San Román J(3), Luján Ll(4), Muniesa A(4), Prades M(2), Ribera T(2), Rodellar C(4), Rodríguez I(1), Romero A(4), Santiago I(3), Vázquez FJ(4), Vitoria A(4), Viu J(2), Zalaya J(4). (1. Universidad Alfonso X El Sabio, 2. Universidad Autónoma de Barcelona, 3. Universidad Complutense de Madrid, 4. Universidad de Zaragoza)

10.3.3 *Capítulos de libros*

- Investigación Educativa e Innovación Docente en el proceso de Convergencia Europea, 2008. Prensas Universitarias de Zaragoza. ISBN 978-84-92774-13-5. "Desarrollo de un simulador multimedia para la mejora del aprendizaje del diagnóstico de cojeras en caballos". Vázquez FJ, Romero A, **Gómez-Arrue J**, de Blas, I, Viloria AJ.

- Buenas prácticas en la docencia universitaria con apoyo de TIC: experiencias en 2011, 2012. Prensas Universitarias de Zaragoza. ISBN 978-84-15538-38-7. "Aprendizaje activo del diagnóstico de cojeras en caballos. Una experiencia docente que combina TIC, biomodelos y casos reales". Vázquez FJ, Romero A, **Gómez-Arrue J**, Zalaya J, Vitoria A, Ardanaz N, de Blas I.

10.3.4 *Premios y Reconocimientos*

- Reconocimiento de experiencias docentes, innovadoras y de especial calidad, apoyadas en TIC, Proyecto PESUZ_09_7_291, 2009, Simulador de cojeras de caballos: una herramienta docente innovadora para aprender a diagnosticarlas.

10.4 Evolución de los lenguajes Open Source de programación a lo largo de la historia

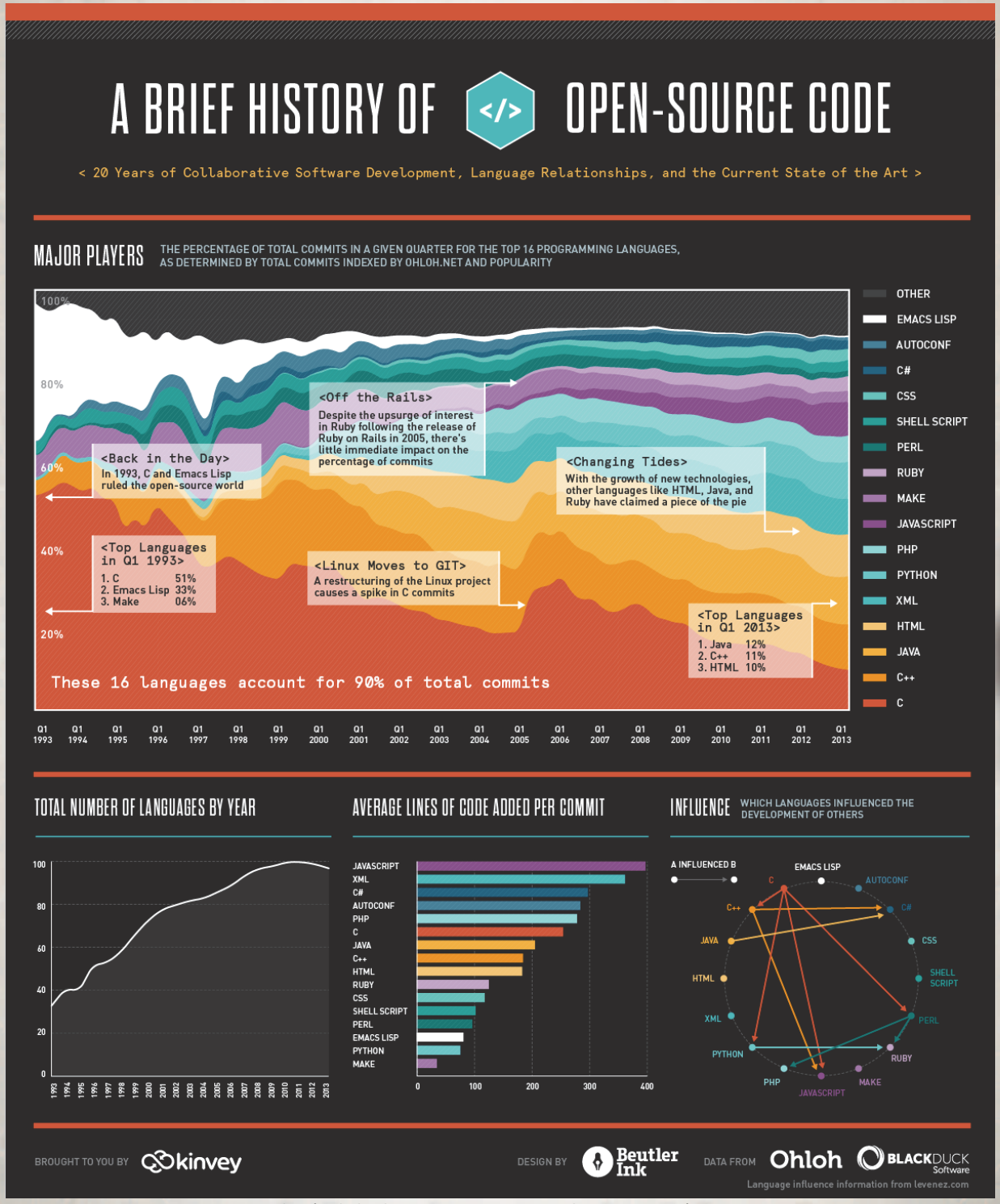


Figura 10.1: Evolución de los lenguajes Open Source de programación entre 1993 y 2013