



**Escuela Superior
de Ingeniería y Tecnología**
Universidad de La Laguna

Trabajo de Fin de Grado

Lenguaje de dominio específico para la
estimación de la edad ósea

Domain-specific Language for Bone Age Estimation

Marcos Jesús Barrios Lorenzo

La Laguna, 12 de julio de 2023

Dra. D. **Coromoto León Hernández**, con N.I.F. 78.605.216-W profesora Catedrático de Universidad del área de Lenguajes y Sistemas Informáticos, adscrita al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como tutora

Dr. D. **Martín Pérez, Isidro Miguel**, con N.I.F. 45.734.661-N personal Investigador en Formación del área de Radiología y Medicina Física, adscrito al Departamento de Medicina Física y Farmacología, de la Universidad de La Laguna, como cotutor

I N F O R M A (N)

Que la presente memoria titulada:

"Lenguaje de dominio específico para la estimación de la edad ósea"

ha sido realizada bajo su dirección por D. **Marcos Jesús Barrios Lorenzo**, con N.I.F. 45.980.990-B.

Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos firman la presente en La Laguna a 12 de julio de 2023

Agradecimientos

A mis tutores Coromoto León Hernández y Isidro Miguel Martín Pérez por la oportunidad y el trato respetuoso que me han proporcionado.

Licencia



© Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.

Resumen

La estimación de la edad ósea es una técnica de estimación de la edad biológica que se aplica cuando algunas personas requieren asistencia después de verse obligados a emigrar desde su país natal de forma repentina y no disponen de documentación personal que acredite su edad cronológica. En este trabajo se plantea una posible línea de investigación desde el punto de vista informático. Como primer paso se realiza una revisión bibliográfica para escribir el estado del arte. Posteriormente se realiza un diseño informado compuesto por un diagrama de clases del Lenguaje de Modelado Unificado (Unified Modeling Language, UML) y descripciones de la sintaxis y la semántica del Lenguaje de Dominio Específico (Domain-Specific Language, DSL) desarrollado. Finalmente, se codifica un prototipo en el lenguaje de programación Ruby siguiendo una metodología de Desarrollo Guiado por Pruebas (Test-Driven Development, TDD) como proceso de verificación.

Palabras clave: Estimación edad ósea, edad biológica, radiografía, Lenguaje de Dominio Específico, Desarrollo Guiado por Pruebas, Lenguaje Unificado de Modelado, Elementos de Informe Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metanálisis - PRISMA.

Abstract

Bone age estimation is a biological age estimation technique used to help individuals who are forced to emigrate from their home country and don't have official documentation that verifies their chronological age. The development of a Domain-Specific Language for bone age estimation as a construct for a new possible branch of research is the main goal of this work. First, a bibliographic investigation is conducted to subsequently create an informed design consisting of a UML class diagram and descriptions of the syntax and semantics of the Domain-Specific Language (DSL) subject to be developed. It is then coded in Ruby with a Test-Driven Development (TDD) approach for verification and validation.

Keywords: DSL, Domain-specific Language, estimation, bone age, biological age, radiography, Digital X-Ray image, TDD, Test-Driven Development, UML diagram, Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses - PRISMA, git.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes y estado del arte	1
1.2. Actividades a realizar	2
1.2.1. Tarea 1: Revisión Bibliográfica (antecedentes)	2
1.2.2. Tarea 2: Diseño de un prototipo de aplicación.	2
1.2.3. Tarea 3: Codificación del prototipo diseñado.	3
1.2.4. Tarea 4: Verificación y pruebas.	3
1.2.5. Tarea 5: Documentación.	3
1.3. Plan de Trabajo	3
2. Revisión bibliográfica	4
2.1. Preguntas de investigación	4
2.2. Protocolo de revisión	9
2.2.1. Preguntas de Investigación	9
2.2.2. Ámbito	10
2.2.3. Marco temporal	10
2.2.4. Criterios de inclusión y exclusión	10
2.2.5. Criterios de calidad	10
2.2.6. Fuentes de datos	10
2.2.7. Términos de búsqueda	11
2.2.8. Ecuación de búsqueda canónica	15
2.3. Evaluación del protocolo de revisión	19
2.4. Ejecución de la revisión sistemática	20
2.4.1. Identificación de la investigación relevante	20
2.4.2. Selección de los estudios primarios	20
2.4.3. Síntesis de los datos extraídos	22
3. Diseño del Software	25
3.1. Descripción del Lenguaje de Dominio Específico	25
3.1.1. Sintaxis	25
3.1.2. Semántica	27
3.1.3. Ejecución del DSL	33
3.2. Diagrama de clases UML	33
4. Verificación y validación	43
4.1. Pruebas de unidad	43
5. Conclusiones y líneas futuras	45
6. Summary and Conclusions	47

7. Presupuesto	48
7.1. Recursos necesarios	48
7.2. Tiempo y costes necesarios	48
A. Recursos de interés	50
A.1. Enlace al diagrama UML en diagrams.net	50
A.2. Enlace al documento con todos los registros encontrados en formato BibTeX	50

Índice de figuras

3.1. Carpeta con las definiciones de atlas	32
3.2. Resultado de la invocación show	33
3.3. Vista general del diagrama de clases UML	34
3.4. Clase DSLBoneAge	38
3.5. Clases ExtensionScoreSystem y RegionOfInterest	39
3.6. Clase ExtensionRadiography	40
3.7. Clase ExtensionAtlas	40
3.8. Clase ExtensionComparison	41
3.9. Clase Atlas	42
3.10. Clases Radiography y Bone.	42
3.11. Clases de errores.	42
4.1. Clases de pruebas de unidad.	43

Índice de tablas

2.1. Términos en español	12
2.2. Términos en inglés	13
2.3. Pareja (pregunta, término de búsqueda) de ejemplo.	15
2.4. Ecuaciones de búsqueda canónicas	15
3.1. Diferencia entre evaluar el bloque de código en el contexto de llamada (1) respecto a evaluar en el contexto de instancia (2).	26
7.1. Resumen de tipos	48
7.2. Actividades con el tiempo invertido en ellas y su coste monetario.	49

Capítulo 1

Introducción

Existen contextos en donde se hace necesaria la estimación de la edad biológica en individuos jóvenes. Dicha estimación involucra factores clínicos, analíticos o genéticos, y los que están relacionados con la edad ósea son los más estables, lo que la convierte en el principal enfoque. Para afrontar el problema, las entidades competentes emplean soluciones que son de carácter propietario. Por ello, el objetivo de este proyecto es desarrollar un prototipo de sistema informático de acceso libre para la determinación de la edad ósea.

Como objetivos específicos se tienen:

1. A partir de las especificaciones de los expertos diseñar las componentes del sistema software que permita la estimación de la edad ósea a partir de radiografías.
2. Implementar un prototipo.

1.1. Antecedentes y estado del arte

El cálculo de la edad ósea se realiza principalmente mediante dos métodos: Greulich Pyle y Tennis-Whitehouse. El primero es de origen americano y consiste en la comparación de la muestra de interés con otra muestra estándar en el atlas de referencia, el cual cubre un rango de edades para ambos sexos. Por otro lado, el segundo método es europeo y consiste en la asignación de una puntuación a distintos huesos del brazo para posteriormente calcular la edad ósea utilizando una ecuación matemática. Su criterio de puntuación está especificado en las propias fuentes bibliográficas del método y la elección de huesos depende de la variante utilizada.

Tanto los métodos ya mencionados como otros que son utilizados en menor medida son llevados a cabo manualmente por un experto, pero

también existen alternativas automatizadas. BoneXpert es la más utilizada y sus resultados son igual de válidos que los métodos tradicionales, gracias a que su funcionamiento se basa en los métodos Greulich Pyle y Tennis-Whitehouse.

La implementación de métodos automatizados no se ha explorado a través de Lenguajes de Dominio Específico (DSL); las soluciones existentes están presentes a modo de programas de escritorio y aplicaciones web. También se observa una tendencia al uso de Redes Neuronales Convolutivas (en inglés Convolutional Neural Network, CNN) en conjunto con técnicas de procesamiento de imágenes basadas en trigonometría y geometría para la extracción de artefactos de interés.

1.2. Actividades a realizar

1.2.1. Tarea 1: Revisión Bibliográfica (antecedentes)

Se va a buscar información sobre lenguajes de dominio específico para la determinación de la edad biológica. Además de buscar los modelos de gestión existentes que tratan su forma de funcionamiento, así como estudios sobre el grado de satisfacción con los mismos. Por otro lado, se buscará información sobre las aplicaciones informáticas en el mercado desarrolladas para comprender y medir la edad biológica de un individuo. Para poder llevar a cabo todo este proceso se usarán herramientas para realizar búsquedas de documentación como Dialnet y Google Académico entre otras. Además se utilizará un procedimiento de búsqueda sistemática denominado PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) para las revisiones sistemáticas de la literatura en el contexto de la Ingeniería de Software.

1.2.2. Tarea 2: Diseño de un prototipo de aplicación.

Se va a buscar información sobre lenguajes de dominio específico para la determinación de la edad biológica. Además de buscar los modelos de gestión existentes que tratan su forma de funcionamiento, así como estudios sobre el grado de satisfacción con los mismos. Por otro lado, se buscará información sobre las aplicaciones informáticas en el mercado desarrolladas para comprender y medir la edad biológica de un individuo. Para poder llevar a cabo todo este proceso se usarán herramientas para realizar búsquedas de documentación como Dialnet y Google Académico entre otras. Además se utilizará un procedimiento de búsqueda sistemática

denominado PRISMA para las revisiones sistemáticas de la literatura en el contexto de la Ingeniería de Software.

1.2.3. Tarea 3: Codificación del prototipo diseñado.

Implementar un Lenguaje de Dominio Específico. Se utilizará el lenguaje Ruby.

1.2.4. Tarea 4: Verificación y pruebas.

Realizar las pruebas pertinentes para comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos de la aplicación.

1.2.5. Tarea 5: Documentación.

Redacción de la memoria del Trabajo Fin de Grado, realización del vídeo de presentación del mismo, así como el resumen para su presentación oral.

1.3. Plan de Trabajo

Teniendo en cuenta las tareas descritas anteriormente, se propone la siguiente planificación para la ejecución del proyecto, en las quince semanas de un cuatrimestre, así como las fechas de las actividades de la asignatura:

Tarea/Actividad	Fechas
Actividad 1.- Seminario de presentación de Trabajo de Fin de Grado	(01/10/2022)
Actividad 2.- Seminario preparatorio del Proyecto de Trabajo de Fin de Grado	(8, 15, 29/11/2022)
Tarea 1: Revisión Bibliográfica	(2 semanas)
Actividad 3.- Seminario 1	(30/01/2023 - 05/02/2023)
Tarea 2: Diseño de un prototipo de aplicación	(4 semanas)
Actividad 4.- Seminario 2	(08/03/2023 - 12/03/2023)
Actividad 5.- Seminario 3	(24/04/2023 - 30/04/2023)
Tarea 3: Codificación del prototipo diseñado	(4 semanas)
Tarea 4: Verificación y pruebas	(3 semanas)
Tarea 5: Documentación	(2 semanas)
Actividad 6.- Seminario 4	(08/05/2023 - 14/05/2023)

Capítulo 2

Revisión bibliográfica

Los capítulos intermedios servirán para cubrir los siguientes aspectos: antecedentes, problemática o estado del arte, objetivos, fases y desarrollo del proyecto.

La estimación de la edad ósea mediante radiografías es un concepto no trivial que requiere conocimiento específico, por lo que se procede a utilizar el protocolo PRISMA (en inglés *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) para realizar una revisión sistemática de alcance en el campo de la estimación de la edad ósea de cara a identificar una línea de investigación.

2.1. Preguntas de investigación

Para cada pregunta de investigación se emplea el esquema PICOC:

- P: Población, ¿a quién afecta el problema?
- I: Intervención, ¿qué se va a hacer para solucionar el problema?
- C: Comparación: ¿cuál es la alternativa?
- O: Resultado (Outcome): ¿cómo se mide el resultado?
- C: Contexto: ¿en qué país, área, establecimiento?

Preguntas de mapeo

- MQ1. ¿Se puede estimar la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes sin utilizar un atlas o todos los métodos emplean uno?

- MQ2. ¿Qué precisión es aceptable para un usuario de un sistema automatizado de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?
- MQ3. ¿Qué sistemas automatizados de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescencia existen?

Preguntas de Investigación

- RQ1. ¿Qué procesos de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes se utilizan en la actualidad?
- RQ2. ¿Qué tipos de radiografía son utilizadas para estimar la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?
- RQ3. ¿Qué medidas se utilizan para estimar la edad ósea por radiografía utilizando el método Tanner-Whitehouse?
- RQ4. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Greulich-Pyle?
- RQ5. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Tanner-Whitehouse?
- RQ6. ¿Existe algún Lenguaje de Dominio Específico para la estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?

Razonamiento PICOC

MQ1. ¿Se puede estimar la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes sin utilizar un atlas o todos los métodos emplean uno?

- P: Población, ¿a quién afecta el problema?.

Ambos sexos, adolescentes y niños

- I: Intervención, ¿qué se va a hacer para solucionar el problema?

Utilizar un atlas de referencia.

- C: Comparación: ¿cuál es la alternativa?¹

¹Algunas cuestiones de PICOC se dejan vacías a propósito.

- O: Resultado (Outcome): ¿cómo se mide el resultado?, ¿qué quiere lograr?
- C: Contexto: ¿en qué país, área, establecimiento?

MQ2. ¿Qué precisión es aceptable para un usuario de un sistema automatizado de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?

- P: Población, ¿a quién afecta el problema?.

Ambos sexos, adolescentes y niños

- I: Intervención, ¿qué se va a hacer para solucionar el problema?

Analizar encuestas sobre la satisfacción de los usuarios de cara a implementar una mejor solución.

- C: Comparación: ¿cuál es la alternativa?
- O: Resultado (Outcome): ¿cómo se mide el resultado?, ¿qué quiere lograr?
- C: Contexto: ¿en qué país, área, establecimiento?

MQ3. ¿Qué sistemas automatizados de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescencia existen?

- P: Población, ¿a quién afecta el problema?.

Ambos sexos, adolescentes y niños.

- I: Intervención, ¿qué se va a hacer para solucionar la situación?

Identificar los distintos sistemas automatizados de estimación de la edad ósea.

- C: Comparación: ¿cuál es la alternativa?
- O: Resultado (Outcome): ¿cómo se mide el resultado?, ¿qué quiere lograr?

Obtener una lista de identificadores de programas.

- C: Contexto: ¿en qué país, área, establecimiento?

RQ1. ¿Qué procesos de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes se utilizan en la actualidad?

- P: Población, ¿a quién afecta el problema?.

Pacientes de pediatría y adolescentes.

- I: Intervención, ¿qué se va a hacer para solucionar la situación?

Recopilar todas las posibles alternativas funcionales para la estimación de la edad ósea en todo el mundo.

- C: Comparación: ¿cuál es la alternativa?
- O: Resultado (Outcome): ¿cómo se mide el resultado?, ¿qué quiere lograr?
- C: Contexto: ¿en qué país, área, establecimiento?

En todo el mundo.

RQ2. ¿Qué tipos de radiografía son utilizadas para estimar la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?

- P: Población, ¿a quién afecta el problema?.

Pacientes de pediatría y adolescentes.

- I: Intervención, ¿qué se va a hacer para solucionar la situación?

Teniendo en cuenta que hay distintos centros de osificación, entonces encontrar las zonas que disponen de centros de osificación, en los cuales hay gran evolución morfológica de los huesos según maduran.

- C: Comparación: ¿cuál es la alternativa?
- O: Resultado (Outcome): ¿cómo se mide el resultado?, ¿qué quiere lograr?

Se han cubierto todas las articulaciones del cuerpo y otros posibles lugares similares a centros de osificación.

- C: Contexto: ¿en qué país, área, establecimiento?

RQ3. ¿Qué medidas se utilizan para estimar la edad ósea por radiografía utilizando el método Tanner-Whitehouse?

- P: Población, ¿a quién afecta el problema?

Pacientes de pediatría y adolescentes.

- I: Intervención, ¿qué se va a hacer para solucionar la situación?

Identificar las medidas relevantes que permiten diferenciar a los huesos en los centros de osificación a medida que crecen.

- C: Comparación: ¿cuál es la alternativa?
- O: Resultado (Outcome): ¿cómo se mide el resultado?, ¿qué quiere lograr?

Identificar los países donde hay un método de estimación.

- C: Contexto: ¿en qué país, área, establecimiento?

En todo el mundo.

RQ4. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Greulich-Pyle?

- P: Población, ¿a quién afecta el problema?

Pacientes de pediatría y adolescentes.

- I: Intervención, ¿qué se va a hacer para solucionar la situación?

Identificar los pasos para aplicar el método Greulich-Pyle

- C: Comparación: ¿cuál es la alternativa?
- O: Resultado (Outcome): ¿cómo se mide el resultado?, ¿qué quiere lograr?

Se obtiene una estimación de la edad ósea tras seguir los pasos.

- C: Contexto: ¿en qué país, área, establecimiento?

En todo el mundo.

RQ5. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Tanner-Whitehouse?

- P: Población, ¿a quién afecta el problema?

Pacientes de pediatría y adolescentes.

- I: Intervención, ¿qué se va a hacer para solucionar la situación?

Identificar los pasos para aplicar el método Tanner-Whitehouse

- C: Comparación: ¿cuál es la alternativa?
- O: Resultado (Outcome): ¿cómo se mide el resultado?, ¿qué quiere lograr?

Se obtiene una estimación de la edad ósea tras seguir los pasos.

- C: Contexto: ¿en qué país, área, establecimiento?

En todo el mundo.

RQ6. ¿Existe algún Lenguaje de Dominio Específico para la estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?

- P: Población, ¿a quién afecta el problema?

Pacientes de pediatría y adolescentes.

- I: Intervención, ¿qué se va a hacer para solucionar la situación?

Se va a desarrollar una alternativa a los sistemas existentes de estimación de la edad ósea que permitan entender todo el proceso sin necesidad de conocer los detalles de implementación del sistema.

- C: Comparación: ¿cuál es la alternativa?
- O: Resultado (Outcome): ¿cómo se mide el resultado?, ¿qué quiere lograr?
- C: Contexto: ¿en qué país, área, establecimiento?

2.2. Protocolo de revisión

2.2.1. Preguntas de Investigación

El marco de definición del ámbito PICOC (Población, Intervención, Comparación, Desenlace, Contexto) sirve de base para el planteamiento de las preguntas de investigación. Tras su definición se procede a deliberar sobre la información que es necesaria para alcanzar los objetivos del trabajo. A partir de ella se plantean las preguntas de investigación.

2.2.2. Ámbito

Dentro del ámbito de la estimación automatizada de la edad ósea un usuario utiliza un programa pero desconoce qué pasos da para calcular la edad ósea. Es por ello que se plantea el desarrollo de un Lenguaje de Dominio Específico (DSL) para poder conocer con exactitud el proceso aplicado.

El DSL debe centrarse en qué hacer y no en cómo hacerlo de forma que se pueda utilizar sin tener conocimientos de programación más allá de lo básico. Para ello debe permitir estimar la edad ósea con una precisión razonable que dependa del proceso empleado habiendo invocado explícitamente funciones que describen los pasos a realizar de forma clara e inequívoca.

Éste sistema resultante debe poder ser utilizado en la identificación de individuos en centros especializados. Se tiene en cuenta que el crecimiento de los huesos depende de factores genéticos, y por lo tanto, el sistema debe tener en cuenta las diferencias de procedencia de distintos individuos.

2.2.3. Marco temporal

El campo de la estimación ósea es un campo de la medicina muy específico y por lo tanto se espera que haya una cantidad manejable de fuentes bibliográficas disponibles. Por la razón anterior y por el tipo de revisión sistemática, no se aplicará un filtro de año de publicación.

2.2.4. Criterios de inclusión y exclusión

Los registros encontrados en la búsqueda realizada usando la ecuación de búsqueda canónica correspondiente a la pregunta pueden estar en inglés o en español y deben incluir el texto completo además de ser de acceso libre. Se excluyen los registros duplicados.

2.2.5. Criterios de calidad

Todos los registros son considerados por tratarse de una revisión de alcance.

2.2.6. Fuentes de datos

Se emplea el motor de búsqueda académico PuntoQ [4] en la categoría "Todos los recursos", que incluye varias bases de datos de registros como Dialnet o Google Académico.

2.2.7. Términos de búsqueda

Para cada pregunta de investigación se plantean términos de búsqueda y luego se obtienen sus sinónimos utilizando diccionarios en línea. Después se obtienen los términos de búsqueda equivalentes en inglés.

- **MQ1. ¿Se puede estimar la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes sin utilizar un atlas o todos los métodos emplean uno?:** método, alternativa, estimación, edad ósea, radiografía.
- **MQ2. ¿Qué precisión es aceptable para un usuario de un sistema automatizado de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?:** estimación, edad ósea, radiografía, grado de satisfacción, encuestas, “validación del sistema automatizado”, usabilidad, evaluación clínica, errores de estimación, precisión, fiabilidad.
- **MQ3. ¿Qué sistemas automatizados de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescencia existen?:** sistema, automatización, estimación, edad ósea, radiografía.
- **RQ1. ¿Qué procesos de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes mediante los huesos de la mano y el brazo se utilizan en la actualidad?:** métodos, edad ósea, radiografía, estimación, recopilación, resumen, mano, brazo.
- **RQ2. ¿Qué tipos de radiografía son utilizadas para estimar la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?:** estimación, edad ósea, radiografía, tipo, zona.
- **RQ3. ¿Qué medidas se utilizan para estimar la edad ósea por radiografía utilizando el método Tanner-Whitehouse?:** estimación, edad ósea, radiografía, medidas, Tanner-Whitehouse.
- **RQ4. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Greulich-Pyle?:** método, edad ósea, radiografía, pasos, estimación, greulich-pyle, análisis, evaluación, criterio, tutorial.

- **RQ5. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Tanner-Whitehouse?:** método, edad ósea, radiografía, estimación, Tanner-Whitehouse, pasos, análisis, evaluación, criterio, tutorial.
- **RQ6. ¿Existe algún Lenguaje de Dominio Específico para la estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?:** Lenguaje de Dominio Específico, estimación, edad ósea, radiografía.

Tabla 2.1: Términos en español

Término de búsqueda	Sinónimos
evolución ósea	Desarrollo óseo, Maduración ósea, Crecimiento óseo, Transformación ósea, adaptación ósea.
morfología del hueso	Anatomía del hueso, Forma del hueso.
centro de osificación	Núcleo de osificación, Punto de osificación, Punto de crecimiento, Centro de crecimiento, Foco de osificación, Foco de crecimiento, Núcleo de crecimiento, Zona de crecimiento.
edad ósea	Madurez ósea, Antigüedad ósea, Edad esquelética, Antigüedad esquelética.
alternativa	Opción, Posibilidad, Variante, Propuesta diferente, Enfoque diferente.
estimación	Aproximación, Valoración, Predicción.
BoneXpert	(no aplica)
usabilidad	UX, experiencia de usuario, User-Friendly, Efectividad de uso, Eficiencia de uso, Manejo, Facilidad de uso.
tutorial	Guía, Instructivo, Referencia, Documentación, Explicación, Ayuda, Manual, Lecciones, material didáctico, Aprendizaje guiado.
procedencia	Origen, Fuente, Raíces, Linaje.
métodos	Técnicas, Enfoques, Estrategias, Tácticas.
método	Técnica, Enfoque, Estrategia, Táctica.
radiografía	Radiodiagnóstico, Tomografía, Estudio radiográfico. Exploración radiológica.
Greulich-pyle	Greulich, Greulich y Pyle.
pasos	Protocolo, Etapas, Fases, Directrices, Instrucciones.
análisis	Evaluación, Revisión, Investigación, Estudio.

evaluación	Valoración, Análisis Crítico, Verificación.
Tanner-Whitehouse	<no procede>
criterio	Juicio, Medida.
tipo	Especie, Categoría, Modalidad.
zona	Área, Región, Sector, Lugar.
grado de satisfacción	Nivel de satisfacción, Nivel de aceptación, Grado de complacencia.
sistema	Programa, Aplicación, Herramienta, Software.
automatización	Computarización, Automación, asistido por computador, asistido por ordenador
encuestas	Cuestionarios, Sondeos, Entrevistas.
precisión	Exactitud, Certeza.
fiabilidad	Consistencia, Confiabilidad, Robustez
errores de estimación	Inexactitudes, Desviaciones, Discrepancias, Errores de cálculo
evaluación clínica	Valoración médica, Diagnóstico, Examen médico
validación del sistema automatizado	(no aplica)
recopilación	Recopilación, Recolección, Revisión, Recopilamiento, Recolecta
resumen	Resumen, Repaso
mano	Carpiano, Metacarpiano, Falange
brazo	Húmero, Cúbito, Radio
medidas	Directrices

Se obtiene la misma tabla pero en idioma inglés mediante el uso de diccionarios y búsquedas online:

Tabla 2.2: Términos en inglés

Término de búsqueda	Sinónimos
bone evolution	Bone development, Bone maturation, Bone growth, Bone transformation, Bone adaptation
bone morphology	Bone anatomy, Bone shape
ossification center	Ossification center, Ossification point, Growth point, Growth center, Ossification focus, Growth focus, Growth nucleus, Growth area, Growth zone
bone age	Bone maturity, Skeletal maturity, Skeletal age

alternative	Option, Possibility, Variant, Different proposal, Different approach
estimation	Approach, Assessment, Prediction
BoneXpert	N/A
usability	UX, User experience, User-Friendly, Ease of use, Handling, User friendliness
tutorial	Guide, Instruction, Reference, Documentation, Explanation, Help, Manual, Lessons, Teaching material, Guided learning
Origin	Source, Roots, Lineage, Provenance
methods	Techniques, Approaches, Strategies, Tactics
method	Technique, Approach, Strategy, Tactic
radiography	Radiodiagnosis, Tomography, Radiographic study, Radiological examination
Greulich-Pyle	Greulich, Greulich and Pyle
steps	Protocol, Stages, Phases, Guidelines, Instructions
analysis	Assessment, Review, Research, Study
evaluation	Evaluation, Critical analysis, Verification
Tanner-Whitehouse	N/A
criterion	Judgment, Measurement
type	Species, Category, Modality
zone	Area, Region, Sector, Location
satisfaction level	Acceptance level, Degree of satisfaction
system	Program, Application, Tool, Software
automation	Computerization, computer aided, CAD
surveys	Questionnaires, Surveys, Interviews
precision	Accuracy, Certainty
reliability	Consistency, Robustness
estimation errors	Deviations, Discrepancies, Calculation errors, Miscalculations
clinical evaluation	Medical evaluation, Diagnosis, Medical examination
validation of automated the system	N/A
compilation	Collection, Review, Summary, Recap, Condensation
summary	Synopsis, Survey, Recap
hand	Carpal, Metacarpals, Phalanges
arm	Humerus, Ulna, Radius
measurements	Directive

Ambas tablas son equivalentes en cuanto a traducción de términos.

2.2.8. Ecuación de búsqueda canónica

Cada pregunta de investigación obtiene su propia EBC a partir de la combinación de cada término de búsqueda mediante los operadores lógicos AND.

A veces una EBC no devuelve resultados, por lo que se transforma en una versión más generalizada mediante la ramificación de términos de búsqueda desde una base común. Por ejemplo, dado:

Tabla 2.3: Pareja (pregunta, término de búsqueda) de ejemplo.

Pregunta de investigación	Términos de búsqueda
RQ5. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Tanner-Whitehouse?	método, edad ósea, radiografía, estimación, Tanner-Whitehouse, pasos, análisis, evaluación, criterio, tutorial.

En el caso normal su EBC es:

("método" OR ... <sinónimos>²) AND ("edad ósea" OR ... <sinónimos>) AND ("radiografía" OR ... <sinónimos>) AND ("estimación" OR ... <sinónimos>) AND ("Tanner-Whitehouse" OR ... <sinónimos>) AND ("pasos" OR ... <sinónimos>) AND ("análisis" OR ... <sinónimos>) AND ("evaluación" OR ... <sinónimos>) AND ("criterio" OR ... <sinónimos>) AND ("tutorial" OR ... <sinónimos>)

Sin embargo se puede suavizar mediante el cambio de un AND por un OR. Para ello se toma parte de la EBC como base:

("método" OR ... <sinónimos>) AND ("edad ósea" OR ... <sinónimos>) AND ("radiografía" OR ... <sinónimos>) AND ("estimación" OR ... <sinónimos>) AND ("Tanner-Whitehouse" OR ... <sinónimos>)

Y a partir de esa base se ramifica para los términos de búsqueda "pasos", "análisis", "evaluación", etc. Así, la estructura de la EBC es: <base>AND (<rama1>OR <rama2>OR <rama3>) para incluir todas las ramificaciones.

Además, cada EBC se traduce al inglés y se une con su versión en español mediante un operador OR.

Tabla 2.4: Ecuaciones de búsqueda canónicas

Pregunta	Ecuación de búsqueda canónica
----------	-------------------------------

²Secuencia de sinónimos separados por el operador lógico OR. Por ejemplo: "Técnica" OR "Enfoque" OR "Estrategia" OR "Táctica"

<p>MQ1. ¿Se puede estimar la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes sin utilizar un atlas o todos los métodos emplean uno?</p>	<p>((“método” OR “Técnica” OR “Enfoque” OR “Estrategia” OR “Táctica”) AND (“alternativa” OR “Opción” OR “Posibilidad” OR “Variante” OR “Propuesta diferente” OR “Enfoque diferente”) AND (“estimación” OR “Aproximación” OR “Valoración” OR “Predicción”) AND (“edad ósea” OR “Madurez ósea” OR “Antigüedad ósea” OR “Edad esquelética” OR “Antigüedad esquelética”) AND (“radiografía” OR “Radiodiagnóstico” OR “Tomografía” OR “Estudio radiográfico” OR “Exploración radiológica”)) OR (“method” OR “Technique” OR “Approach” OR “Strategy” OR “Tactic”) AND (“alternative” OR “Option” OR “Possibility” OR “Variant” OR “Different proposal” OR “Different approach”) AND (“Estimation” OR “Approximation” OR “Valuation” OR “Prediction”) AND (“Bone age” OR “Skeletal maturity” OR “Bone maturity” OR “Skeletal age” OR “Osseous age”) AND (“radiography” OR “Radiodiagnosis” OR “Tomography” OR “Radiographic study” OR “Radiological examination”))</p>
<p>MQ2. ¿Qué precisión es aceptable para un usuario de un sistema automatizado de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?</p>	<p>((“estimación” OR “Aproximación” OR “Valoración” OR “Predicción”) AND (“edad ósea” OR “Madurez ósea” OR “Antigüedad ósea” OR “Edad esquelética” OR “Antigüedad esquelética”) AND (“radiografía” OR “Radiodiagnóstico” OR “Tomografía” OR “Estudio radiográfico” OR “Exploración radiológica”) AND (“grado de satisfacción” OR “Nivel de satisfacción” OR “Nivel de aceptación” OR “Grado de complacencia”) OR (“encuestas” OR “Cuestionarios” OR “Sondeos” OR “Entrevistas”) OR (“validación del sistema automatizado” OR “Verificación del sistema automatizado” OR “Evaluación del sistema automatizado” OR “Prueba del sistema automatizado” OR “Acreditación del sistema automatizado”) OR (“usabilidad” OR “UX” OR “experiencia de usuario” OR “User-Friendly” OR “Efectividad de uso” OR “Eficiencia de uso” OR “Manejo” OR “Facilidad de uso”) OR (“evaluación clínica” OR “Valoración médica” OR “Diagnóstico” OR “Examen médico”) OR (“errores de estimación” OR “Valoración médica” OR “Diagnóstico” OR “Examen médico”) OR (“precisión” OR “Exactitud” OR “Certeza”) OR (“fiabilidad” OR “Consistencia” OR “Confiabilidad” OR “Robustez”))) OR (“estimation” OR “Deviations” OR “Discrepancies” OR “Calculation errors” OR “Miscalculations”) AND (“bone age” OR “Bone maturity” OR “Skeletal maturity” OR “Skeletal age”) AND (“radiography” OR “Radiodiagnosis” OR “Tomography” OR “Radiographic study” OR “Radiological examination”) AND (“satisfaction level” OR “Acceptance level” OR “Degree of satisfaction”) OR (“surveys” OR “Questionnaires” OR “Interviews”) OR (“system validation” OR “System verification” OR “System testing” OR “System accreditation”) OR (“usability” OR “UX” OR “User experience” OR “User-Friendly” OR “Ease of use” OR “Handling” OR “User friendliness”) OR (“clinical evaluation” OR “Medical evaluation” OR “Diagnosis” OR “Medical examination”) OR (“estimation errors” OR “Deviations” OR “Discrepancies” OR “Calculation Errors” OR “Miscalculations”) OR (“precision” OR “Accuracy” OR “Certainty”) (“reliability” OR “Consistency” OR “Robustness”))</p>

<p>MQ3. ¿Qué sistemas automatizados de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescencia existen?</p>	<p>((“sistema” OR “Programa” OR “Aplicación” OR “Herramienta” OR “Software”) AND (“automatización” OR “Computarización” OR “Automación” OR “asistido por computador” OR “asistido por ordenador”) AND (“estimación” OR “Aproximación” OR “Valoración” OR “Predicción”) AND (“edad ósea” OR “Madurez ósea” OR “Antigüedad ósea” OR “Edad esquelética” OR “Antigüedad esquelética”) AND (“radiografía” OR “Radiodiagnóstico” OR “Tomografía” OR “Estudio radiográfico” OR “Exploración radiológica”) OR (“system” OR “Program” OR “Application” OR “Tool” OR “Software”) AND (“automation” OR “Computerization” OR “CAD” OR “computer aided”) AND (“Estimation” OR “Approximation” OR “Valuation” OR “Prediction”) AND (“bone age” OR “Bone maturity” OR “Skeletal maturity” OR “Skeletal age”))</p>
<p>RQ1. ¿Qué procesos de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes se utilizan en la actualidad?</p>	<p>((“métodos” OR “Técnicas” OR “Enfoques” OR “Estrategias” OR “Tácticas”) AND (“edad ósea” OR “Madurez ósea” OR “Antigüedad ósea” OR “Edad esquelética” OR “Antigüedad esquelética”) AND (“radiografía” OR “Radiodiagnóstico” OR “Tomografía” OR “Estudio radiográfico” OR “Exploración radiológica”) AND (“estimación” OR “Aproximación” OR “Valoración” OR “Predicción”) AND (“Recopilación” OR “Recolección” OR “Revisión” OR “Recopilamiento” OR “Recolecta”) OR (“Resumen” OR “Repaso”))) OR (“methods” OR “Techniques” OR “Approaches” OR “Strategies” OR “Tactics”) AND (“bone age” OR “Bone maturity” OR “Skeletal maturity” OR “Skeletal age”) AND (“radiography” OR “Radiodiagnosis” OR “Tomography” OR “Radiographic study” OR “Radiological examination”) AND (“estimation” OR “Approach” OR “Assessment” OR “Prediction”) AND (“Compilation” OR “Collection” OR “Review” OR “Summary” OR “Recap” OR “Condensation”) OR (“Synopsis” OR “Survey” OR “Recap”))</p>
<p>RQ2. ¿Qué tipos de radiografía son utilizadas para estimar la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?</p>	<p>((“estimación” OR “Aproximación” OR “Valoración” OR “Predicción”) AND (“edad ósea” OR “Madurez ósea” OR “Antigüedad ósea” OR “Edad esquelética” OR “Antigüedad esquelética”) AND (“radiografía” OR “Radiodiagnóstico” OR “Tomografía” OR “Estudio radiográfico” OR “Exploración radiológica”) AND (“tipo” OR “Especie” OR “Categoría” OR “Modalidad”) AND (“zona” OR “Área” OR “Región” OR “Sector” OR “Lugar”) OR (“zona” OR “Área” OR “Región” OR “Sector” OR “Lugar”))) OR (“estimation” OR “Approach” OR “Assessment” OR “Prediction”) AND (“bone age” OR “Bone maturity” OR “Skeletal maturity” OR “Skeletal age”) AND (“radiography” OR “Radiodiagnosis” OR “Tomography” OR “Radiographic study” OR “Radiological examination”) AND (“type” OR “Species” OR “Category” OR “Modality”) OR (“zone” OR “Area” OR “Region” OR “Sector” OR “Location”))</p>

<p>RQ3. ¿Qué medidas se utilizan para estimar la edad ósea por radiografía utilizando el método Tanner-Whitehouse?</p>	<p>((“estimación” OR “Aproximación” OR “Valoración” OR “Predicción”) AND (“edad ósea” OR “Madurez ósea” OR “Antigüedad ósea” OR “Edad esquelética” OR “Antigüedad esquelética”) AND (“radiografía” OR “Radiodiagnóstico” OR “Tomografía” OR “Estudio radiográfico” OR “Exploración radiológica”) AND (“Tanner-Whitehouse” OR “Tanner” OR “Tanner y Whitehouse”) AND (“medidas” OR “directrices”) OR (“criterio” OR “Juicio” OR “Medida”))) OR ((“Estimation” OR “Approach” OR “Assessment” OR “Prediction”) AND (“bone age” OR “Bone maturity” OR “Skeletal maturity” OR “Skeletal age”) AND (“radiography” OR “Radiodiagnosis” OR “Tomography” OR “Radiographic study” OR “Radiological examination”) AND (“Tanner-Whitehouse” OR “Tanner” OR “Tanner and Whitehouse”) AND (“measurements” OR “directives”) OR (“criterion” OR “Judgment” OR “Criteria” OR “Measurement”))</p>
<p>RQ4. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Greulich-Pyle?</p>	<p>((“método” OR “Técnica” OR “Enfoque” OR “Estrategia” OR “Táctica”) AND (“edad ósea” OR “Madurez ósea” OR “Antigüedad ósea” OR “Edad esquelética” OR “Antigüedad esquelética”) AND (“radiografía” OR “Radiodiagnóstico” OR “Tomografía” OR “Estudio radiográfico” OR “Exploración radiológica”) AND (“estimación” OR “Aproximación” OR “Valoración” OR “Predicción”) AND (“greulich-pyle” “Greulich” OR “Greulich y Pyle”) AND (“pasos” OR “Protocolo” OR “Etapas” OR “Fases” OR “Directrices” OR “Instrucciones”) AND (“análisis” OR “Evaluación” OR “Revisión” OR “Investigación” OR “Estudio”) AND (“evaluación” OR “Valoración” OR “Análisis Crítico” OR “Verificación”) OR (“criterio” OR “Juicio” OR “Medida”) OR (“tutorial” OR “Guía” OR “Instructivo” OR “Referencia” OR “Documentación” OR “Explicación” OR “Ayuda” OR “Manual” OR “Lecciones” OR “material didáctico” OR “Aprendizaje guiado”))) OR ((“method” OR “Technique” OR “Approach” OR “Strategy” OR “Tactic”) AND (“bone age” OR “Bone maturity” OR “Skeletal maturity” OR “Skeletal age”) AND (“radiography” OR “Radiodiagnosis” OR “Tomography” OR “Radiographic study” OR “Radiological examination”) AND (“estimation” OR “Deviations” OR “Discrepancies” OR “Calculation errors” OR “Miscalculations”) AND (“Greulich-Pyle” OR “Greulich” OR “Greulich and Pyle”) AND (“steps” OR “Protocol” OR “Stages” OR “Phases” OR “Guidelines” OR “Instructions”) OR (“analysis” OR “Assessment” OR “Review” OR “Research” OR “Study”) OR (“evaluation” OR “Critical analysis” OR “Verification”) OR (“criterion” OR “Judgment” OR “Measurement”) OR (“tutorial” OR “Guide” OR “Instruction” OR “Reference” OR “Documentation” OR “Explanation” OR “Help” OR “Manual” OR “Lessons” OR “Teaching material” OR “Guided learning”)))</p>

<p>RQ5. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Tanner-Whitehouse?</p>	<p>((“método” OR “Técnica” OR “Enfoque” OR “Estrategia” OR “Táctica”) AND (“edad ósea” OR “Madurez ósea” OR “Antigüedad ósea” OR “Edad esquelética” OR “Antigüedad esquelética”) AND (“radiografía” OR “Radiodiagnóstico” OR “Tomografía” OR “Estudio radiográfico” OR “Exploración radiológica”) AND (“estimación” OR “Aproximación” OR “Valoración” OR “Predicción”) AND (“Tanner-whitehouse” OR “Tanner” OR “Tanner y Whitehouse”) AND (“pasos” OR “Protocolo” OR “Etapas” OR “Fases” OR “Directrices” OR “Instrucciones”) AND (“análisis” OR “Evaluación” OR “Revisión” OR “Investigación” OR “Estudio”) AND (“evaluación” OR “Valoración” OR “Análisis Crítico” OR “Verificación”) OR (“criterio” OR “Juicio” OR “Medida”) OR (“tutorial” OR “Guía” OR “Instructivo” OR “Referencia” OR “Documentación” OR “Explicación” OR “Ayuda” OR “Manual” OR “Lecciones” OR “material didáctico” OR “Aprendizaje guiado”))) OR ((“method” OR “Technique” OR “Approach” OR “Strategy” OR “Tactic”) AND (“bone age” OR “Bone maturity” OR “Skeletal maturity” OR “Skeletal age”) AND (“radiography” OR “Radiodiagnosis” OR “Tomography” OR “Radiographic study” OR “Radiological examination”) AND (“estimation” OR “Deviations” OR “Discrepancies” OR “Calculation errors” OR “Miscalculations”) AND (“Tanner-Whitehouse” OR “Tanner” OR “Tanner and Whitehouse”) AND (“steps” OR “Protocol” OR “Stages” OR “Phases” OR “Guidelines” OR “Instructions”) OR (“analysis” OR “Assessment” OR “Review” OR “Research” OR “Study”) OR (“evaluation” OR “Critical analysis” OR “Verification”) OR (“criterion” OR “Judgment” OR “Measurement”) OR (“tutorial” OR “Guide” OR “Instruction” OR “Reference” OR “Documentation” OR “Explanation” OR “Help” OR “Manual” OR “Lessons” OR “Teaching material” OR “Guided learning”)))</p>
<p>RQ6. ¿Existe algún Lenguaje de Dominio Específico para la estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?</p>	<p>((“Lenguaje de Dominio Específico” OR “DSL”) AND (“estimación” OR “Aproximación” OR “Valoración” OR “Predicción”) AND (“edad ósea” OR “Madurez ósea” OR “Antigüedad ósea” OR “Edad esquelética” OR “Antigüedad esquelética”) AND (“radiografía” OR “Radiodiagnóstico” OR “Tomografía” OR “Estudio radiográfico” OR “Exploración radiológica”)) OR ((“Domain-Specific Language” OR “Domain Specific Language” OR “DSL”) AND (“estimation” OR “Approach” OR “Assessment” OR “Prediction”) AND (“bone age” OR “Bone maturity” OR “Skeletal maturity” OR “Skeletal age”) AND (“radiography” OR “Radiodiagnosis” OR “Tomography” OR “Radiographic study” OR “Radiological examination”))</p>

Los registros encontrados a partir de cada EBC son exportados en formato BibTeX [14] y se almacenan en un documento de texto.

2.3. Evaluación del protocolo de revisión

El protocolo ha sido revisado por los tutores académicos de este trabajo.

2.4. Ejecución de la revisión sistemática

2.4.1. Identificación de la investigación relevante

A continuación se ejecuta la búsqueda de cada EBC. Las cantidades resultantes son:

- RQ1: 379 resultados.
- RQ2: 311 resultados.
- RQ3: 21 resultados.
- RQ4: 96 resultados.
- RQ5: 41 resultados.
- RQ6: 0 resultados.
- MQ1: 58 resultados.
- MQ2: 8 resultados (español), 279 resultados (inglés).
- MQ3: 99 resultados.

2.4.2. Selección de los estudios primarios

Una vez aplicado el filtro de texto completo disponible, los registros obtenidos son:

- RQ1: 289 resultados.
- RQ2: 206 resultados.
- RQ3: 16 resultados.
- RQ4: 71 resultados.
- RQ5: 28 resultados.
- RQ6: 0 resultados
- MQ1: 37 resultados.
- MQ2: 3 resultados (español), 188 resultados (inglés).
- MQ3: 78 resultados

Después se eliminan los registros que no son de acceso libre. Para ello aplica el filtro de “Acceso Libre” en PuntoQ. Los resultados son:

- RQ1: 142 resultados.
- RQ2: 88 resultados.
- RQ3: 9 resultados.
- RQ4: 23 resultados.
- RQ5: 10 resultados.
- RQ6: 0 resultados.
- MQ1: 17 resultados.
- MQ2: 1 resultado (español), 80 resultados (inglés).
- MQ3: 41 resultados.

Se puede encontrar el enlace de acceso a los registros en el apéndice A.2. No se aplican criterios de calidad.

2.4.3. Síntesis de los datos extraídos

MQ1. ¿Se puede estimar la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes sin utilizar un atlas o todos los métodos emplean uno?

La estimación de la edad ósea por radiografía se lleva a cabo mediante el reconocimiento de cambios en los indicadores de madurez [8]. Algunos métodos emplean radiografías de referencia con las que comparar la muestra, es decir, Atlas. Sin embargo, si se conoce cómo evoluciona la morfología del hueso, se puede valorar la edad ósea directamente mediante el reconocimiento de las distintas fases, por lo que no siempre se requiere el uso de un Atlas de radiografías. Concretamente, Tanner-Whitehouse asigna una puntuación a zonas de interés para después calcular la media y así obtener la edad ósea final [3].

MQ2. ¿Qué precisión es aceptable para un usuario de un sistema automatizado de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?

En general, se habla de que el error de estimación en la precisión no sea mayor que 1 año. BoneXpert logra desviaciones de menos de 0.17 años de media [15] en individuos para los que está diseñado el programa. Sin embargo, distintos métodos funcionarán mejor o peor según la procedencia de los individuos, por lo que no todos los métodos sirven en todos los casos y para todos los rangos de edad. En general, se busca que el método elegido sea al menos tan bueno como un experto en radiología [15].

MQ3. ¿Qué sistemas automatizados de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescencia existen?

Existen muchos sistemas basados en Redes Neuronales Artificiales (RNN) [10][6][13]. Por otro lado está el programa BoneXpert [502]. También hay técnicas que no se centran en regiones de interés sino que tienen en cuenta la imagen entera [291].

RQ1. ¿Qué procesos de estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes se utilizan en la actualidad?

Los métodos principales más utilizados son el de Greulich-Pyle y el de Tanner-Whitehouse [2][8][10][15][6]. Otros métodos utilizados son el de Fishman [15], el Capitoamate planimetry (CH) [3], Gilsanz-Ratibin (GR,

basado en Atlas) [3]. También se utilizan soluciones basadas en Redes Neuronales Artificiales (RNN) [13][11][6][10].

RQ2. ¿Qué tipos de radiografía son utilizadas para estimar la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?

Se pueden utilizar radiografías de la mano, la rodilla, la columna vertebral o la pelvis [3]. Sin embargo, la más utilizada es la de la mano izquierda gracias a que son simples de realizar, no conllevan un gran coste y disponen de muchos centros de osificación, además de una baja exposición a radiación de rayos X [15].

RQ3. ¿Qué medidas se utilizan para estimar la edad ósea por radiografía utilizando el método Tanner-Whitehouse?

Existe una enorme cantidad de algoritmos de asignación de la edad ósea a cada zona de interés [6]. Una técnica de asignación consiste en asignar distintas fases, representadas por letras A,B,C,...,I. Cada fase tiene asociada un valor numérico y se calcula la edad final a partir de la media o la suma de todos los valores numéricos de las fases. El criterio de asignación para el caso de Tanner-Whitehouse 2 puede ser:

- A: falta de depósito de calcio
- B: un solo depósito de calcio
- C: centro distinguido en cuanto a apariencia.
- D: el diámetro máximo es la mitad o más que el ancho de la metáfisis.
- E: el borde de la epífisis es cóncavo.
- F: epífisis tan ancha como metáfisis.
- G: epífisis limita a la metáfisis
- H: ha comenzado la fusión entre epífisis y metáfisis
- I: fusión epifisaria completada

RQ4. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Greulich-Pyle?

Se compara la radiografía del paciente con un atlas que contiene radiografías de referencia según edad y género [10]. Éstas últimas representan la normalidad. La edad ósea final será la de la mejor coincidencia. ([2], [8])

RQ5. ¿Qué pasos se aplican en la estimación de la edad ósea por radiografía en pediatría y adolescencia utilizando el método Tanner-Whitehouse?

Se eligen una serie de zonas de interés en la radiografía izquierda de la mano. Para cada una de esas zonas se asigna una edad ósea. La edad ósea final es la media de la de todas las calculadas. La dificultad radica en el criterio de asignación de edad ósea a las zonas de interés. Es por ello que existen muchos algoritmos de análisis de imagen distintos para hacerlo y no dejan de ser subjetivos. Suelen estar orientados por fases, siendo la primera una extracción de los huesos, mientras que la segunda realiza el cálculo que asigna la edad ósea. Hay involucradas muchas técnicas de preprocesamiento de imagen para la reducción del ruido, la reconstrucción de bordes y mejora de la nitidez ([6], [15], [8]).

RQ6. ¿Existe algún Lenguaje de Dominio Específico para la estimación de la edad ósea por radiografía en pacientes de pediatría y adolescentes?

No se han encontrado registros de DSL para la estimación de la edad ósea por radiografía, por lo que se asume que no existen.

Capítulo 3

Diseño del Software

En este capítulo se presenta la sintaxis del DSL y se describe el diagrama de clases UML que representa su arquitectura.

3.1. Descripción del Lenguaje de Dominio Específico

Un ejemplo básico se puede observar en el fragmento de código 3.1. A continuación se describe la sintaxis y luego la semántica.

```
1 DSLBoneAge.new do
2   radiography name: 'Antonio'
3   bone :radius, length: 21
4   bone :ulna, length: 20
5
6   atlas name: :my_atlas, age: 8, genre: :male
7
8   comparisons
9   compare :all
10  show
11 end
```

Código 3.1: Ejemplo sencillo de estimación de la edad ósea con el DSL

3.1.1. Sintaxis

El proceso comienza con la instanciación de un nuevo objeto que recibe un bloque de código el cual contiene invocaciones de métodos. Está implícito que dichos métodos son invocados por el objeto siendo instanciado, ya que el constructor que lo recibe evalúa el bloque de código a nivel de instancia. Ver tabla 3.1.

El flujo de programa es el mismo que el de un lenguaje de programación típico; de arriba a abajo, por lo que hay un orden implícito en la invocación de los métodos. Algunos métodos no tienen cota superior en la cantidad

Alternativa 1
<pre>DSLAtlas.new do foo foo.atlas name:gp foo.radiography foo.bone :ulna width:5 length: 10 end</pre>
Alternativa 2
<pre>DSLAtlas.new do atlas name:gp radiography bone :ulna width:5 length: 10 end</pre>

Tabla 3.1: Diferencia entre evaluar el bloque de código en el contexto de llamada (1) respecto a evaluar en el contexto de instancia (2).

de argumentos que aceptan, pero también tienen argumentos obligatorios empezando por la izquierda. Como por ejemplo el método `bone` requiere un primer argumento para su nombre y opcionalmente un segundo argumento que siempre debe ir después del primero pero antes que el resto de argumentos, en el caso de que sea utilizado, para luego recibir al menos una medida tras la cual se acepta una cantidad arbitraria de argumentos. Se pueden observar sus distintas variantes en el fragmento de código 3.2.

```

1 bone :ulna, length: 21 # nombre y una medida.
2 bone :ulna, length: 21, width: 5 # nombre y dos medidas.
3 bone :radius, :relativeTo, :ulna, length: -1 # nombre, medidas, relativas
   respecto a ulna, un solo argumento de medida.
```

Código 3.2: Variantes de invocación del método `bone`

Así, se puede tener un solo argumento; el nombre, que es obligatorio, o se puede dar el salto a tres argumentos, para luego definir una cantidad arbitraria de medidas, al menos una. El objetivo es permitir variantes de invocación a los métodos y al mismo tiempo permitir al usuario introducir argumentos que añadan verbosidad a la sintaxis sin cambiar el funcionamiento. Es por ello que muchos métodos definen un `Array` y/o un `Hash` como parámetro/s, de forma que la invocación del método puede recibir argumentos que no son utilizados en el cuerpo del método. Ver fragmento de código 3.3.

```

1 def bone(*args_array, **hash_measurements)
2   (...)
3 end
```

Código 3.3: Definición del método `bone`. El carácter `*` implica `Array`, mientras que `**` implica `Hash`.

Un ejemplo de ello es el método `bone`, que define como primer parámetro un Array tal que según su longitud se hará una cosa u otra y que tiene también como segundo parámetro un Hash en el cual se espera que se haya definido al menos una pareja llave-valor y cuyo contenido es interpretado como medidas del hueso.

Así, si el array es de longitud uno entonces se crea un hueso mediante medidas absolutas. Si es de longitud tres se interpreta el primer elemento como el nombre del nuevo hueso y como tercer elemento el nombre del hueso que tiene las medidas, pero el segundo elemento no se comprueba por lo que puede ser algo descriptivo como `:fromRelativeMeasurements`.

Escribir una gran cantidad de argumentos que no cambian la funcionalidad pero mejoran la expresividad del lenguaje es posible en métodos como `atlas`, que también emplea un Array y un Hash como parámetros pero que simplemente comprueban si hay una cadena de caracteres concreta en el Array o si hay una llave concreta en Hash. Ver el fragmento de código 3.4.

```
1 atlas :import, :an, :atlas, :with, name: :atlas_basic_example, and: :then,  
   set: :the, age: 8, set: :the, genre: :male  
2 # que es equivalente a:  
3 atlas name: :atlas_basic_example, age: 8, genre: :male
```

Código 3.4: Invocación de `atlas` con muchos argumentos que son ignorados.

Por otro lado, algunos métodos definen un solo parámetro y por lo tanto no permiten argumentos arbitrarios extra. Ver fragmento de código 3.5.

```
1 def age(numeric)  
2   (...)  
3 end
```

Código 3.5: El método `age` asigna la edad actual de la referencia activa en el atlas de radiografías de referencia del método GP.

3.1.2. Semántica

El DSL es compatible con las técnicas de estimación de la edad ósea, Greulich-Pyle (GP) y Tanner-Whitehouse (TW), el primero a partir de la definición de atlas con radiografías de referencia, y el segundo a través de un sistema de puntuaciones. Ambos requieren la descripción de una radiografía sobre la que trabajar, además de sus propios elementos.

Una radiografía está formada por la descripción de los huesos que contiene. Cada hueso tiene un nombre y una cantidad arbitraria de medidas numéricas con nombre. Pueden crearse huesos a partir de las medidas de otro utilizando la sintaxis ya presentada en el fragmento de código 3.2.

La técnica GP requiere un Atlas que contiene radiografías de referencia ya etiquetadas con una edad ósea y que también está categorizadas según edad y sexo, con las que comparar la radiografía del paciente. La edad ósea se obtiene según a la que más se parezca. Por otro lado, TW tiene un sistema de puntuaciones por áreas de la radiografía del paciente según un criterio concreto tal que al hacer la suma o la media el valor resultante sea la edad ósea.

En GP es necesario crear un atlas o incluir un atlas que ya ha sido definido antes de poder invocar los métodos de comparación. También debe haber sido descrita la radiografía del paciente previamente. En este prototipo inicial solo se permite tener activa una radiografía, es decir, la descripción subsecuente substituye a la anterior, de forma que está implícitamente activa en todo momento posterior a su descripción.

Ocurre lo mismo con la técnica de sistema de puntuaciones (TW), pero en este caso no emplea un atlas. En su lugar, define áreas de interés en la radiografía del paciente. Cada una tiene un conjunto distinto de huesos de la radiografía, también tiene una descripción que es orientativa para el usuario final del DSL y también tiene asignada una puntuación numérica, que es la que está involucrada en la media o la suma de todas las áreas de interés.

Cuando se utiliza la técnica GP, al comparar dos radiografías se comparan las medidas de los huesos y se acumula un total de la diferencia del hueso, para cada hueso de las radiografías. Se mantiene la radiografía de referencia del atlas de menor diferencia respecto a la del paciente, y la edad ósea con la que está etiquetada es la edad ósea resultante.

Si se utiliza el sistema de puntuaciones (TW), simplemente se hace la media o la suma de las áreas, por lo que la puntuación debe hacerse mediante un criterio bien medido de forma que esa suma o media sea la edad ósea.

El cálculo de la edad ósea en el DSL es sencillo porque no acepta parcialidad. Por ejemplo, cuando se comparan dos radiografías se comparan todos los huesos, y ambas deben tener los mismos huesos, pero también debe cumplirse que cada hueso tiene las mismas medidas. Por otro lado, al realizar las comparaciones se puede elegir entre describir el proceso a nivel de comparación hueso con hueso, o a nivel de radiografía, o a nivel de atlas (en este caso una sola invocación hace todo el proceso de comparación con todas las radiografías del atlas del género activo correspondiente), pero una vez se haya elegido uno no se puede cambiar a otro nivel de descripción hasta haber finalizado el proceso, de lo contrario el resultado

es un error. Ocurre lo mismo en la técnica TW, la cual tiene por limitación que se deben asignar todos los huesos de la radiografía antes de invocar el método que devuelve el resultado (ver fragmento de código 3.6).

```
1 radiography
2 bone :ulna, length: 25
3 bone :radius, length: 23
4 bone :foo, radius: 3
5
6 scoringSystem
7 roi 'A: falta de deposito de calcio', :ulna, score: 9
8 roi 'B: Un solo deposito de calcio', :radius, score: 3
9 mean # error
10 show
```

Código 3.6: Ejemplo TW en el cual no se asignan todos los huesos a regiones de interés. El resultado de la ejecución es un error.

Las comparaciones GP pueden hacerse por distintas sintaxis. Se puede hacer por una sola invocación, la que previamente se describe como de nivel de atlas (3.7). Aumentando el nivel de detalle, se puede hacer a nivel de radiografía (3.8), de forma que se navega de una radiografía de referencia del atlas a otra comparando una a una con la radiografía del paciente. Aumentando aún más el nivel de detalle, a nivel de hueso (3.9), tras navegar a una radiografía de referencia, se debe invocar un método por cada hueso en las radiografías, y debe haber una invocación de comparación por hueso antes de poder navegar a otra radiografía del atlas o antes de concluir las comparaciones.

```
1 comparisons
2 compare :all
3 show
```

Código 3.7: Comparación a nivel de atlas.

```
1 comparisons
2 compare :radiographies
3 decide
4
5 next
6 compare :radiographies
7 decide
8 show
```

Código 3.8: Comparación a nivel de radiografías.

```
1 comparisons
2 compare :ulna
3 compare :radius
4 compare :carpal
```

```

5 | decide
6 |
7 | next
8 | compare :radiographies # paso de nivel de hueso a nivel de radiografía, es
   |     legal tras un cambio de radiografía de referencia.
9 | decide
10 | show

```

Código 3.9: Comparación a nivel de hueso.

Contextos

Describir la radiografía del paciente, crear o cargar un atlas, comparar por GP o emplear el sistema de puntuaciones de TW son considerados contextos concretos del DSL. Es importante tener en cuenta el contexto, porque antes de invocar el método correspondiente es necesario estar dentro de un contexto que lo permita.

Los métodos `radiography`, `atlas`, `comparisons`, `scoringSystem` son especiales porque cambian el contexto y como consecuencia también cambian los métodos que se pueden invocar. De igual manera, otros métodos terminan el contexto; `show` (de `comparisons` y `scoringSystem`), `create` (de `atlas`). Por simplificar, `radiography` no tiene un método para terminar su contexto, sino que otras llamadas a otros contextos son quienes terminan su contexto. Además, `radiography` es especial porque el contexto de `atlas` tiene su propio método `radiography`, por lo que `radiography` dentro de un contexto de `atlas` lo que hace es describir una radiografía de referencia dentro del atlas. Por lo tanto, para describir una radiografía de un paciente es necesario asegurarse de que no se está en el contexto de `atlas`. Ver el fragmento de código 3.10.

```

1 | # sin contexto, todos los m todos fallan menos los de cambio de contexto
2 |
3 | radiography # contexto para describir la radiografía del paciente
4 | # se mantiene el contexto hasta otro cambio
5 |
6 | atlas :create name: :foo_atlas # entrar al contexto atlas
7 | # contexto para describir un atlas de la técnica GP
8 | radiography # crear radiografía de referencia del atlas
9 | add # agregar radiografía al atlas
10 | create # salir del contexto de atlas
11 |
12 | # sin contexto, todos los m todos fallan menos los de cambio de contexto
13 |
14 | comparisons # contexto de comparaciones GP
15 | compare :all
16 | show # salir del contexto de comparaciones GP

```

```

17
18 atlas name: :gp # cargar un atlas, no cambia el contexto
19
20 # sin contexto, todos los m todos fallan menos los de cambio de contexto
21
22 scoringSystem # contexto de sistema de puntuaciones, para TW
23 roi (...)
24 show # salir del contexto del sistema de puntuaciones
25
26 # sin contexto, todos los m todos fallan menos los de cambio de contexto

```

Código 3.10: Comparación a nivel de hueso.

Dentro del contexto de creación de atlas es necesario especificar un nombre del atlas, ya sea por argumento como por invocación del método `name(new_age)`. Además, cada radiografía de referencia del atlas será asignada al par edad-género activo en ese momento, por lo que también es necesario especificarlo a la hora de describir sus radiografías. Puede hacerse también por argumento inicialmente, pero hay que navegar según se crean más. Se utiliza `add` para agregar la radiografía de referencia descrita.

```

1 atlas :create, name: :foo_atlas, age: 8, genre: :female # inicialmente edad 8,
2   g nero femenino.
3 # de lo contrario hay que especificarlo antes de describirla:
4 # age 8
5 # genre :female
6 radiography
7 bone :ulna, length: 21
8 add
9
10 age 9
11 radiography
12 bone :ulna, length: 22
13 add
14 create

```

Código 3.11: Creación de atlas.

Si se invoca la variante de atlas para cargar un atlas, el DSL lee el archivo cuyo nombre coincide con el especificado por argumento, en el cual está descrito dicho atlas, en la carpeta **atlas/** y lo carga. En otras palabras; se puede crear un atlas en un archivo aparte. (Ver figura 3.1)

Otra funcionalidad dentro de la creación de atlas es la posibilidad de especificar un salto de edad automáticamente cada vez que se invoque el método `next` al describir las radiografías de referencia del atlas. Ver fragmento de código 3.12.

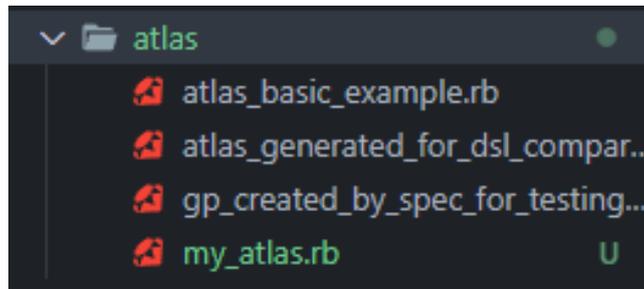


Figura 3.1: Carpeta con las definiciones de atlas

```
1 atlas :create, name: :foo_atlas, age: 8, genre: :female
2 ageIncrements 0.5
3 radiography # se le asgna la edad 8.5
4 bone :ulna, length: 21
5 add
6
7 next
8 radiography # se le asigna la edad 9
9 bone :ulna, length: 22
10 add
11
12 create
```

Código 3.12: Asignar edad de radiografía de referencia de atlas aprovechando el método `ageIncrements`.

Variantes de los métodos

En general, dentro de un contexto se pueden asignar valores como argumento en el método de cambio de contexto (Por ejemplo `atlas`) para dejarlos asignados inicialmente, o se puede invocar un método específico para ello, como ocurre con `age` y `genre`. También hay varias formas de lograr lo mismo.

El método `atlas` tiene varias variantes. Puede cargar un atlas o puede iniciar un contexto de creación de atlas. El primero se da si se invoca `atlas name: :foo`, es decir, si se especifica un nombre y no se incluye el argumento `:create`. Cualquier otro caso provoca la activación del contexto de creación de atlas.

```
1 atlas # sin argumentos
2 # se introducen dentro mediante invocaciones a age(), genre(), name()
3 create
4
5 atlas # sin argumentos
6 # invocaciones age(), genre(), pero no name()
7 create name: :gp
8
```

```

9 atlas :create # y cualquier argumento, genre, name, age
10 # Se mantiene el contexto, no es necesario invocar el m todo create()

```

Código 3.13: Variantes del método atlas

Otro ejemplo es `comparisons` y sus niveles de detalle en las comparaciones, ya introducido previamente en los fragmentos de código 3.7, 3.8, 3.9.

En `scoringSystem` están los métodos `mean` y `sum`, para elegir entre hacer la suma de la puntuación de las áreas de interés o hacer la media. Ver fragmento de código 3.14.

```

1 scoringSystem
2 roi 'A', :radius, score: 5
3 roi 'B', :ulna, score: 3
4 mean
5 show
6
7 scoringSystem
8 roi 'A', :radius, score: 3
9 roi 'B', :ulna, score: 1
10 sum
11 show

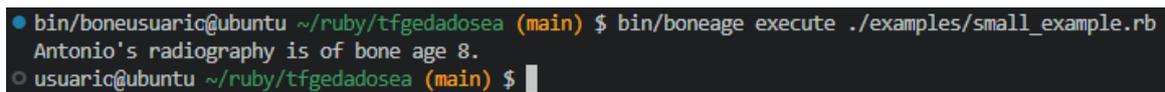
```

Código 3.14: Variantes en el contexto scoringSystem

El resto de métodos son sencillos en cuanto a variantes se refiere. Mención especial al argumento `name` de `radiography`, el cual permite especificar el nombre del paciente al que pertenece la radiografía activa en el DSL o en las radiografías de referencia de la técnica GP.

3.1.3. Ejecución del DSL

Un ejecutable **boneage** recibe como argumento la ruta del archivo DSL a ejecutar. Al leer el método `show` de los contextos `comparisons` y `scoringSystem` muestra por pantalla la edad ósea estimada para el contexto `comparisons` o `scoringSystem` correspondiente. Ver la figura 3.2.



```

• bin/boneusuaric@ubuntu ~/ruby/tfgedadosea (main) $ bin/boneage execute ./examples/small_example.rb
Antonio's radiography is of bone age 8.
○ usuarioc@ubuntu ~/ruby/tfgedadosea (main) $

```

Figura 3.2: Resultado de la invocación show

3.2. Diagrama de clases UML

Se puede encontrar el enlace de acceso al diagrama en el Apéndice A.1.

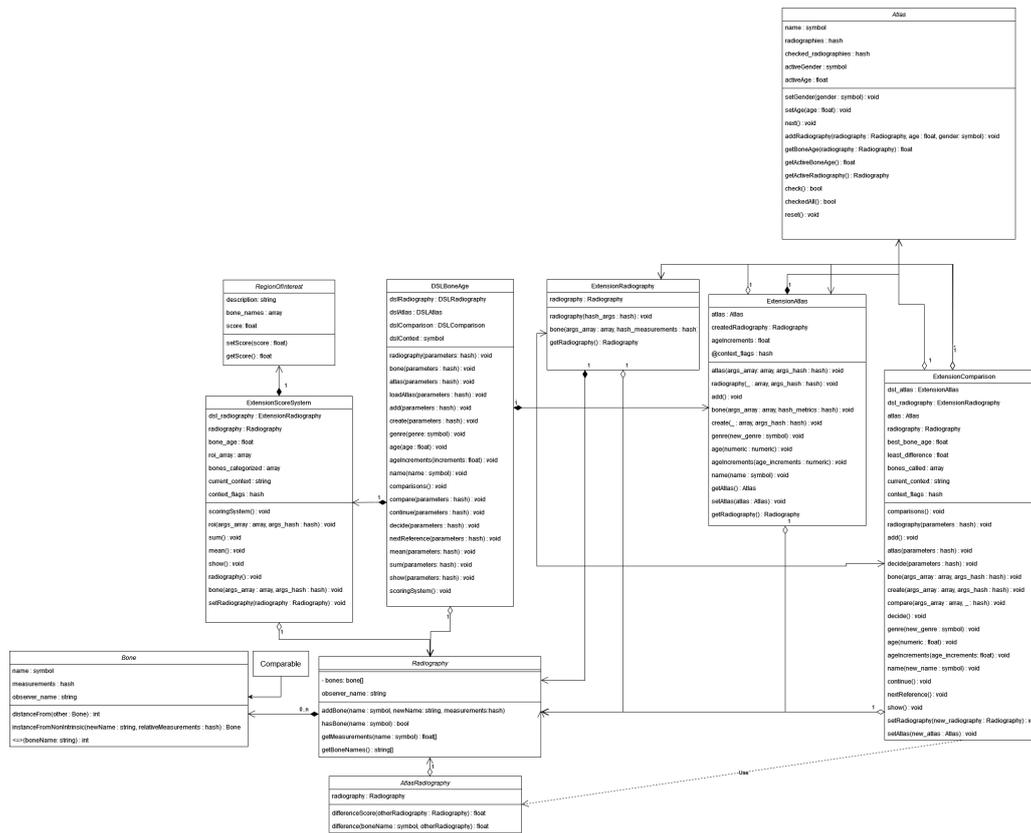


Figura 3.3: Vista general del diagrama de clases UML

La clase principal es DSLBoneAge y está compuesta por varias clases extensión ExtensionAtlas, ExtensionRadiography, ExtensionComparisons, ExtensionScoringSystem de forma que mantiene una variable current_context para decidir qué clase extensión usa para la llamada a ese método, ya que las extensiones tienen muchos métodos comunes como por ejemplo show tanto en ExtensionComparisons como en ExtensionScoringSystem. Es necesario debido a que las clases extensión han sido pensadas para ser versiones pequeñas de un DSL tal que se aplica la relación de composición con DSLBoneAge.

Por ejemplo, el método comparisons está tanto en ExtensionComparisons como en DSLBoneAge, y en éste último tenemos la siguiente definición: ver el fragmento de código 3.15.

```

1 # Context change method
2 def comparisons
3   @current_context = 'dsl_comparisons'
4   @dsl_comparisons.comparisons
5   @dsl_comparisons.setAtlas(@atlas)
6   @dsl_comparisons.setRadiography(@radiography)
7 end

```

Código 3.15: Definición de comparisons en la clase principal DSLBoneAge

Se observa que se invoca a `comparisons` de `ExtensionComparisons` y se actualizan los objetos que necesita dicho contexto, en este caso el atlas y la radiografía del paciente, además de actualizar la variable `current_context`. Se hace algo similar con el resto de métodos de cambio de contexto. De esta forma se puede mantener una arquitectura modular que permite introducir nuevos contextos que están implementados de forma independiente en otras clases, dejando `DSLBoneAge` como gestor del contexto encargado de transferir la información necesaria de un módulo a otro.

`DSLBoneAge` implementa todos los métodos que se pueden invocar. Ver figura 3.4. Utiliza `Radiography`.

La clase `ExtensionScoreSystem` utiliza un `Array` de clases `RegionOfInterest`, las cuales son un simple contenedor de puntuaciones y nombres de huesos. Además, comprueba que se han agregado todos los huesos de la radiografía del paciente, por lo que también tiene una estructura de datos de `array bones_categorized` para llevar la cuenta. Se puede ver la definición de las clases en la figura 3.5.

Continuando, `ExtensionRadiography` es una sencilla clase que comprueba que se pasa la cantidad mínima de argumentos a `bone` y también instancia una nueva clase `Radiography`. Se puede ver la definición de la clase en la figura 3.6.

Por otro lado, `ExtensionAtlas` tiene tanto `Atlas` como `Radiography` y gestiona `context_flags` para controlar que no se llame dos veces seguidas un mismo método, o que se cierre adecuadamente la descripción de una radiografía de referencia con `add`. Se puede ver la definición de la clase en la figura 3.7.

La clase `ExtensionComparison` se comporta como una versión más pequeña de `DSLBoneAge`, por lo que es más compleja que las otras dos extensiones ya mencionadas, sin embargo contiene funcionalidad en su mayoría que no va a ser utilizada porque no se van a invocar métodos de otros contextos desde esta clase, sino desde `DSLBoneAge`. La funcionalidad original es la del método `compare`, el cual contiene lógica para las comparaciones de los tres niveles de detalle; a nivel de radiografía calcula y mantiene la menor diferencia encontrada hasta ahora, además de invocar `check` de `Atlas` para notificar que se ha comprobado una radiografía de referencia de la pista del género actual. De lo contrario el resultado será un error.

Las comprobaciones a nivel de detalle de hueso se hacen en `decide` porque es una restricción entre navegación de radiografías de referencia y no aplica al contexto entero de `comparisons`. Un `Array` llamado

`bones_called` permite llevar la cuenta de si se han comparado todos los huesos o no, de forma que si se navega a la siguiente radiografía de referencia y no se han comparado todos los huesos se produce un error. Se puede ver la definición de la clase en la figura 3.8.

Restan las clases que no representan un DSL o una extensión del mismo, como `Atlas`, que dado un género activo y una edad activa, implementa `next` mediante una iteración de las llaves de edad en la pista de género activa hasta llegar a la que coincide con la variable `active_age`, para luego asignarle la siguiente edad en la subsecuente iteración del loop. En otras palabras, no se sabe cual es la siguiente edad por lo que se itera en una dirección desde el principio hasta el punto actual y entonces se da un paso más. Si ya está activa la última edad de la pista entonces no se actualiza a la siguiente edad y se imprime un aviso por consola. También implementa `getBoneAge`, que es utilizado por la técnica GP cuando se invoca el método `compare :all` y que recibe la radiografía del paciente y la compara con las radiografías de referencia del atlas. Además, mantiene una estructura para saber si se han comprobado todas las radiografías o no, con `check`, `checkAll` y `reset` para gestionarla. Se puede ver la definición de la clase en la figura 3.9.

Finalmente, la clase `Radiography` es un simple contenedor de instancias `Bone`, aunque provee el método `bone`, el cual es invocado en `bone` de las clases del DSL las clases DSL y extensión, y que se encarga de instanciar un objeto `Bone` a partir de las medidas además del caso en que las medidas sean intrínsecas, en cuyo caso hace una búsqueda del otro hueso cuyas medidas se van a copiar para luego invocar su método `instanceFromNonIntrinsic` de la clase `Bone`, que instancia un nuevo `Bone` pero interpretando las medidas recibidas como parámetro como medidas relativas, sumando su valor según corresponda. Está íntimamente relacionada con `Bone`, que permite calcular la diferencia con otro `Bone` e implementa un `Comparable` para comprobar su nombre, además del ya mencionado `instanceFromNonIntrinsic`. Se puede ver la definición de las clases en la figura 3.10.

Como anotación, la clase `Hueso` implementa un `Comparable` para poder utilizar operadores booleanos en Radiografía contra un símbolo de nombre, ya que se ha optado por utilizar un array en la Radiografía en vez de un hash, por lo que para obtener un hueso concreto en base al nombre es necesario iterar todos los huesos hasta dar con el hueso que tiene dicho nombre asignado. Se trata de una cuestión subjetiva; un operador booleano puede ser más elegante que una llamada a método.

Finalmente, están definidas una serie de clases que representan errores y que se invocan bajo distintas condiciones. Ver figura 3.11.

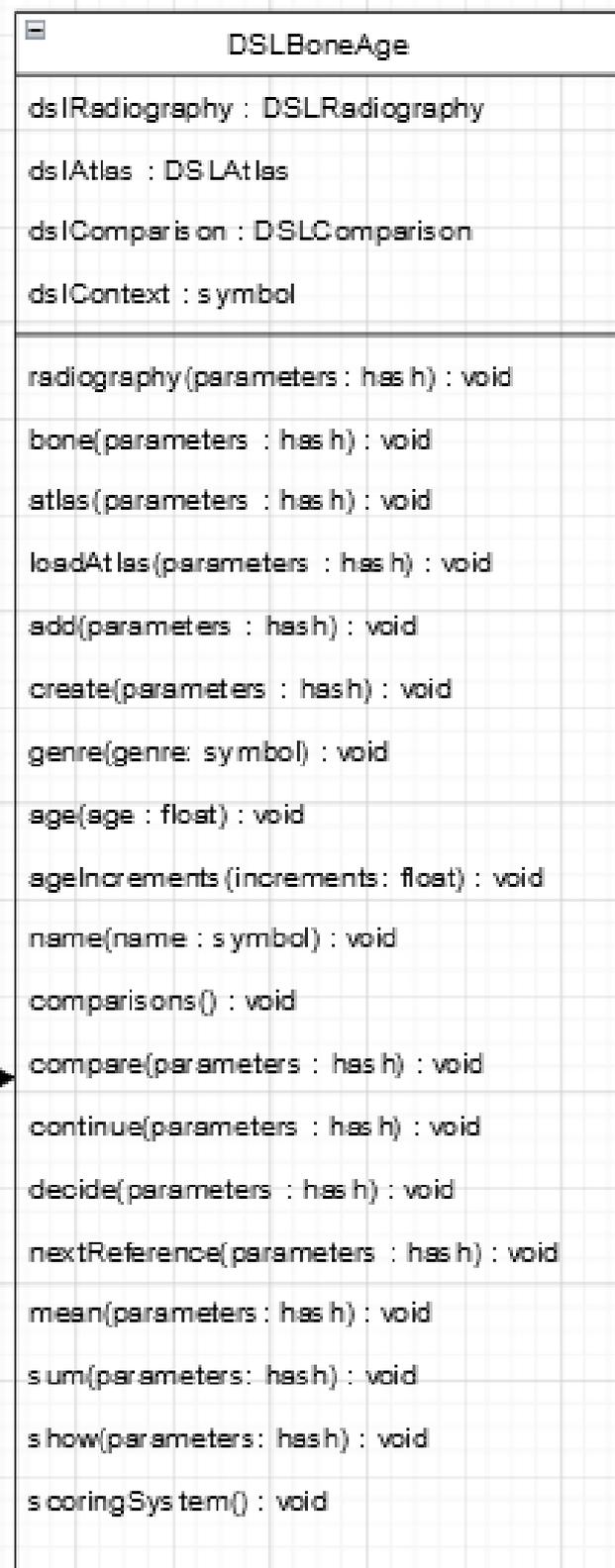


Figura 3.4: Clase DSLBoneAge

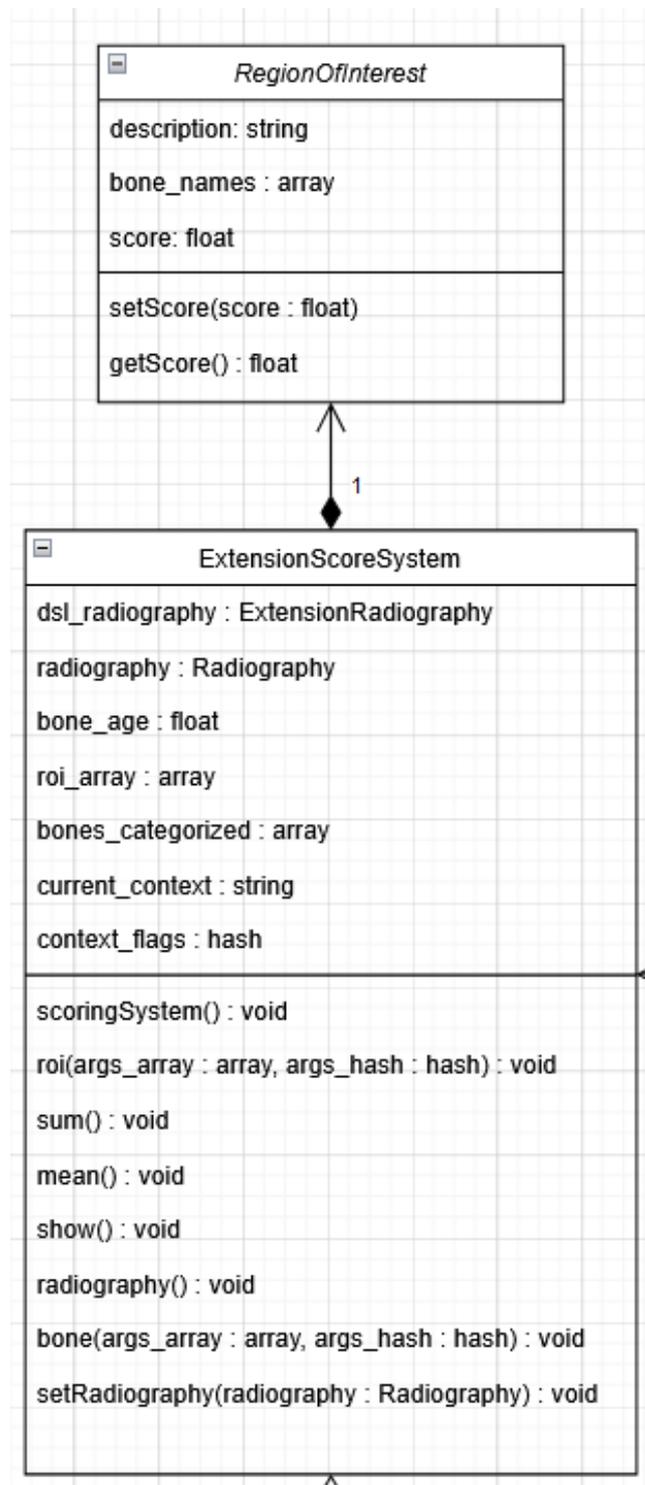


Figura 3.5: Clases *ExtensionScoreSystem* y *RegionOfInterest*

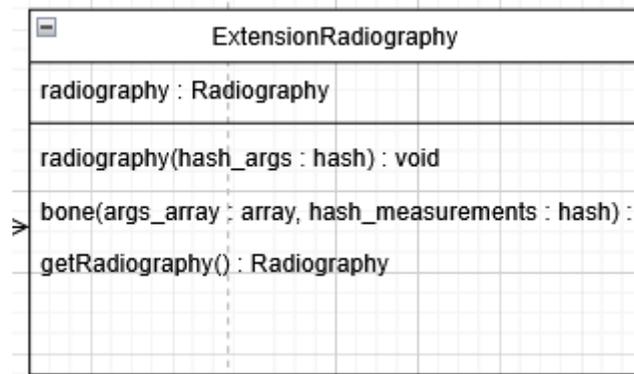


Figura 3.6: Class ExtensionRadiography

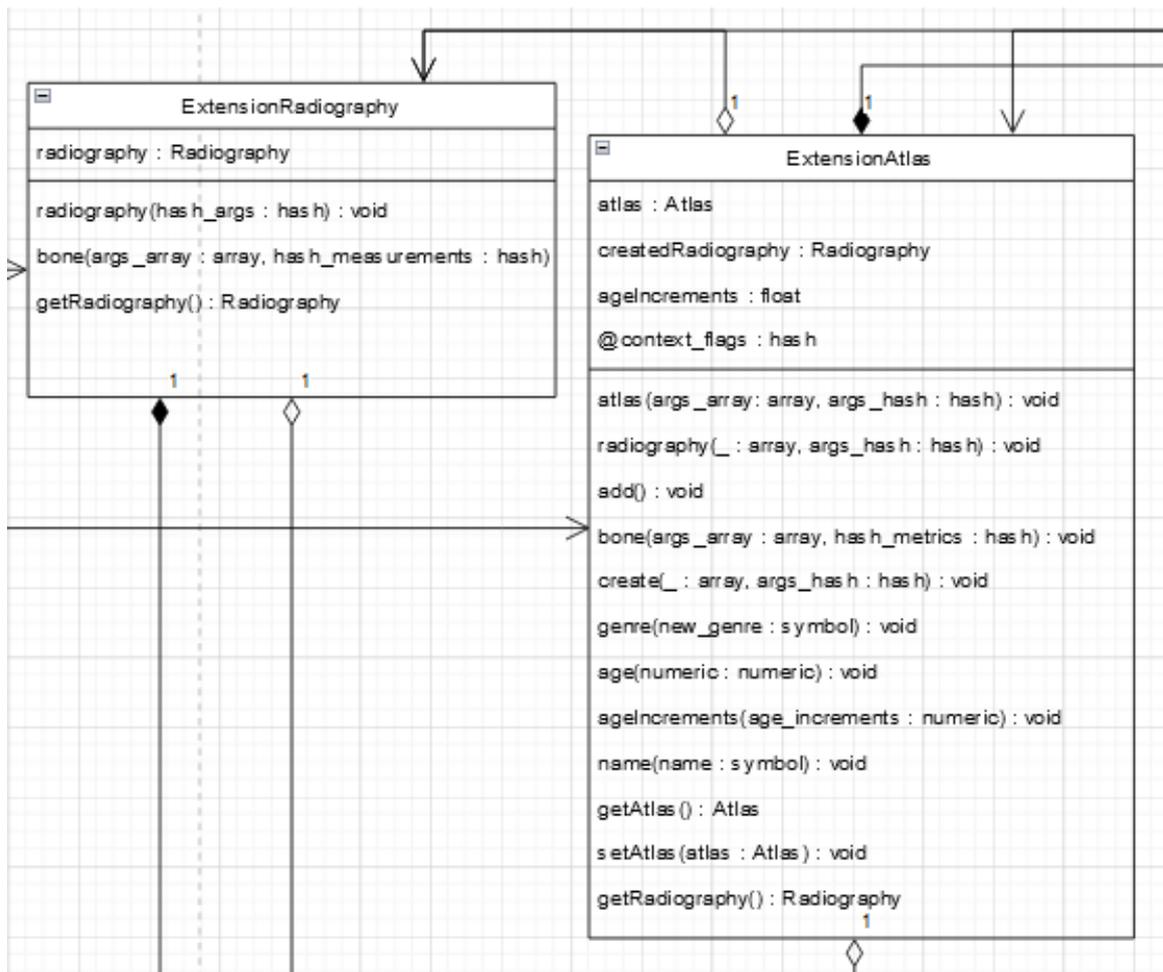


Figura 3.7: Class ExtensionAtlas

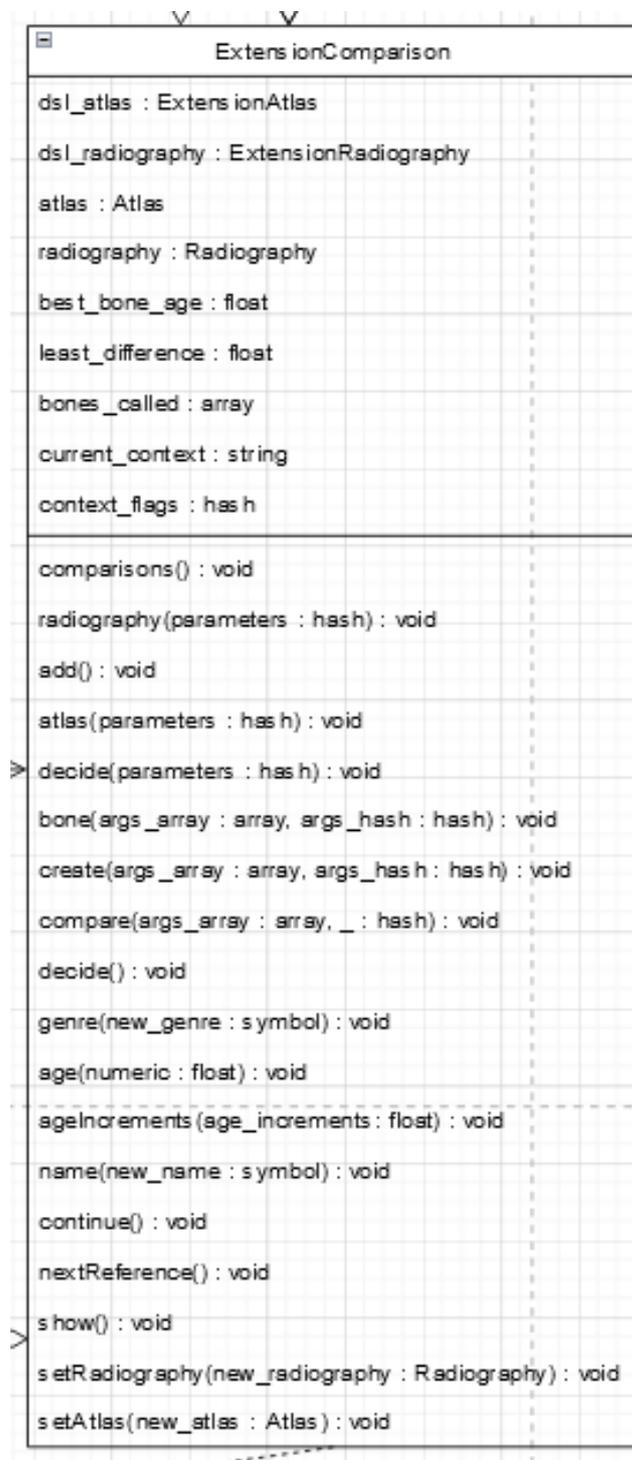


Figura 3.8: Class ExtensionComparison

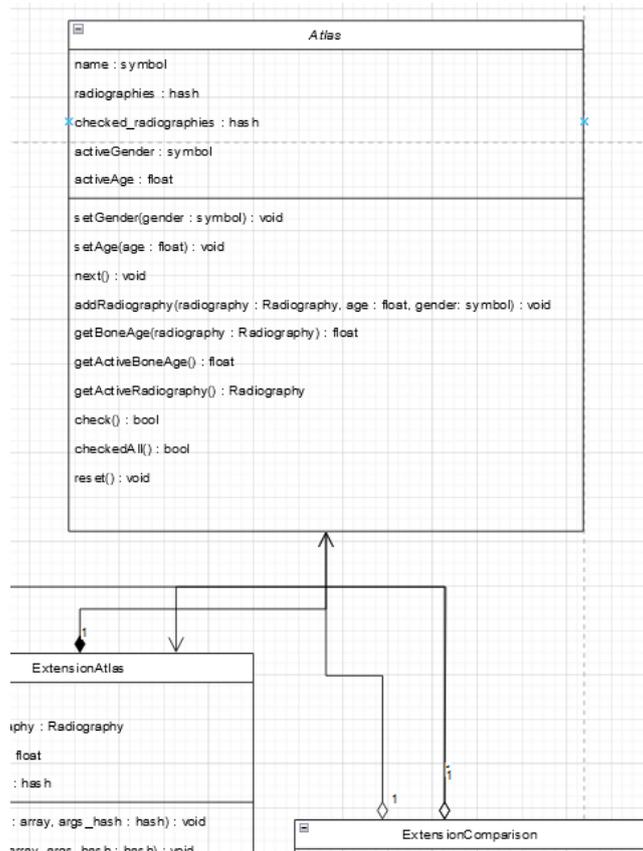


Figura 3.9: Class Atlas

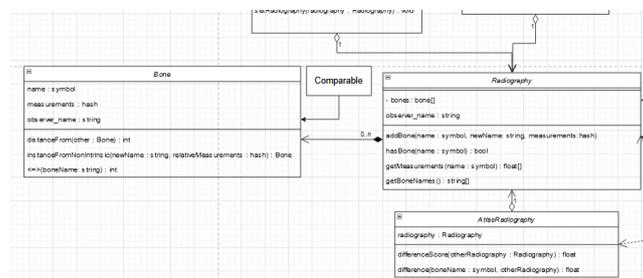


Figura 3.10: Classes Radiography y Bone.

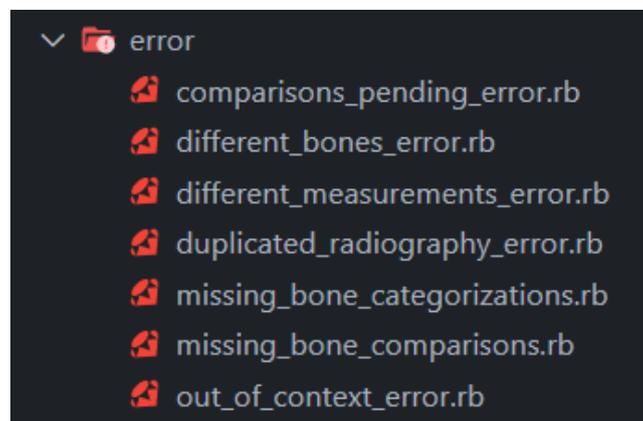


Figura 3.11: Clases de errores.

Capítulo 4

Verificación y validación

Se puede encontrar el repositorio GitHub ([1]) del proyecto DSL con todas las pruebas unitarias en el directorio **spec/** en el siguiente enlace: <https://github.com/alu0101056944/tfgedadosea/>

4.1. Pruebas de unidad

La metodología de Desarrollo Guiado por Pruebas (*Test-Driven Development*, TDD) consiste en el desarrollo de pruebas de unidad antes de la implementación. En este caso se ha creado un archivo de expectativas por clase implementada. Ver figura 4.1.

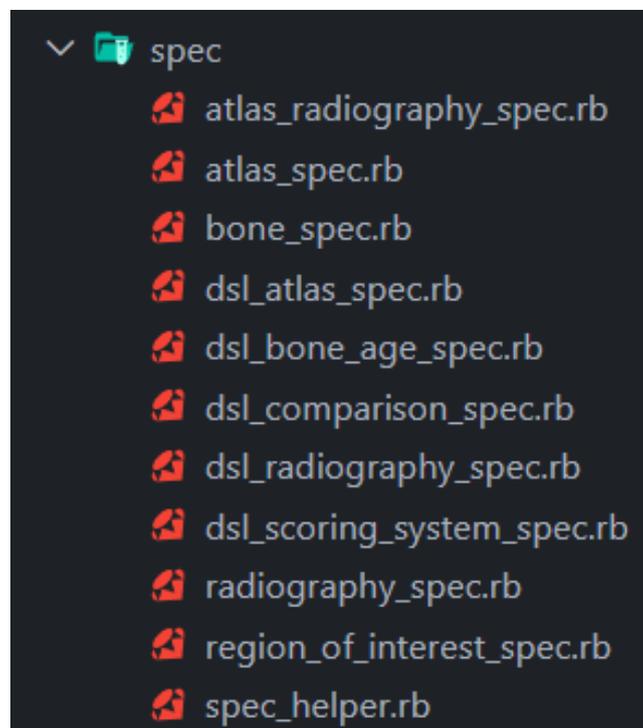


Figura 4.1: Clases de pruebas de unidad.

Todas las pruebas de unidades tienen expectativas para comprobar que la clase existe y que puede ser instanciada. Ver fragmento de código 4.1.

```

1 context 'Attributes testing.' do
2   it 'Atlas class exists.' do
3     expect(defined? Atlas).not_to be nil
4   end
5
6   it 'A Atlas class can be instanced.' do
7     expect(Atlas.new(:gp)).not_to be nil
8   end
9 end

```

Código 4.1: Parte de expectativas en **spec/atlas_spec.rb**

Las expectativas de AtlasRadiography incluyen las comprobaciones de que el cálculo de diferencias entre dos radiografías y entre dos huesos es correcto. Ver fragmento de código 4.2.

```

1 it 'Operation is correct for two whole radiographies.' do
2   radiography1 = Radiography.new
3   radiography1.addBone('radius', nil, { length: 21 })
4   radiography2 = Radiography.new
5   radiography2.addBone('radius', nil, { length: 19 })
6   difference =
7     AtlasRadiography.new(radiography1).differenceScore(radiography2)
8   expect(difference).to eql 2
9 end

```

Código 4.2: Expectativa para diferencias entre radiografías en **spec/atlas_radiography_spec.rb**

Por otro lado, las de Atlas comprueban que los métodos de navegación next, age, gender funcionan correctamente. También comprueban que la cuenta de qué radiografías han sido visitadas check, checkAll, reset tiene el comportamiento esperado.

Las de Bone comprueban la instanciación a partir de medidas relativas a otro hueso y también los métodos de distancia respecto a otro hueso.

Radiography incluye la prueba de addBone, que no debe permitir agregar duplicados, y getMeasurements, que devuelve el valor literal nil si el nombre del hueso pasado como argumento al método no está incluido en la radiografía.

El resto de pruebas de unidad de DSLBoneAge y las clases extensión se centran en probar la sintaxis y semántica de sus métodos, y que debido a que son extensos porque requieren muchas invocaciones de métodos, no se describen en la presente memoria.

Capítulo 5

Conclusiones y líneas futuras

A diferencia de un sistema cerrado propietario, la utilidad del DSL involucra mayor cantidad de variables por lo que es más complejo de medir. Si se está empleando un atlas de referencia, entonces el resultado final varía dependiendo de la cantidad de medidas que utiliza el atlas. Si por el contrario se utiliza el sistema basado en puntuaciones, entonces es el criterio el que permite discernir la utilidad del sistema. Ambas técnicas dependen de la capacidad de descripción del usuario.

Una ventaja de ello es la capacidad de modificación o extensión y la transparencia en las operaciones que realiza el sistema para llegar al resultado. Son características que incentivan la discusión con la comunidad y que por lo general aceleran el proceso evolutivo de un proyecto, de forma que si finalmente el proyecto es apoyado por la comunidad puede dar lugar a avances en el campo de la estimación de la edad ósea.

Por otro lado, desarrollar un DSL sin utilizar como estructura de datos un Árbol Sintáctico Abstracto dificulta excesivamente la introducción de nuevas categorías gramaticales en la sintaxis porque la no existencia de una estructura jerárquica tiene como consecuencia que se tiene que manejar todo el conjunto de variables posibles en todo momento, de forma que a cada nuevo elemento introducido, el número de estados posibles del sistema aumenta exponencialmente. Es por ello que para DSL pequeños como el del presente trabajo puede ser aceptable el uso de estructuras no jerárquicas, ya que el tiempo de desarrollo es menor, sin embargo, teniendo en cuenta que el DSL es un prototipo que da pie a la exploración científica de un campo de estudio, resulta razonable suponer que podría ser sujeto a mucha extensión y modificación en el futuro, por lo que a largo plazo conviene adaptar el prototipo al uso de herramientas como un analizador sintáctico que permita utilizar una estructura de datos que

suponga un menor coste de mantenimiento, como por ejemplo un Árbol Sintáctico Abstracto.

Capítulo 6

Summary and Conclusions

Unlike a closed proprietary system, a DSL's utility is hard to measure because there is more freedom of choice. For instance, when a reference atlas is used, the final result varies depending on the number of measurements. Conversely, when a score-based system is used, the scoring criteria is the main factor in measuring the utility of the system. Yet that complexity is also an advantage because it provides more opportunity for modification or extension and improved transparency in the operations performed by the system to achieve the final result.

Those are the kind of features that greatly facilitate discussion within the community while also accelerating the evolution of a project, and that's why there are potential benefits for the field of bone age estimation.

On the other hand, developing a language and not using a hierarchical data structure like an Abstract Syntax Tree excessively complicates the introduction of new syntax grammatical categories. And the absence of a hierarchical structure means that the entire set of variables must be kept under control at all times due to exponential complexity growth with each new added element. Although, for small languages like this project it may be a good idea to use non-hierarchical structures in exchange for shorter development time. However, taking into account that this project is meant to launch a new research field and because of that then it can be subject to heavy extension and modification, then long term it is probably better to use tools like syntactic analysis to reduce the maintenance cost, by allowing the use of an Abstract Syntax Tree. It is most definitely an approach that is at the very least worth exploring.

Capítulo 7

Presupuesto

7.1. Recursos necesarios

Un ordenador con acceso a internet es esencial para poder descargar el entorno de desarrollo sobre el que programar el prototipo. También es necesario disponer de un servidor de almacenamiento en donde almacenar el proyecto y así prevenir una posible pérdida de información. Se recomienda utilizar la herramienta de control de versiones **git** y hacer uso del servidor de alojamiento de proyectos de git denominado **GitHub**. Éste último requiere una cuenta que se puede obtener sin coste monetario alguno.

Se requiere un buscador académico para la realización de la revisión bibliográfica que proporciona el conocimiento base para el diseño del DSL.

En la tabla 7.1 se puede encontrar un resumen con los tipos de costes del proyecto.

Tipos	Descripción
Recursos de investigación	Acceso a internet, Portátil, ratón.

Tabla 7.1: Resumen de tipos

7.2. Tiempo y costes necesarios

El sueldo medio internacional de un Ingeniero Informático y la cantidad de horas de trabajo al mes son utilizados para aproximar el cómputo del coste monetario que es necesario invertir para llevar a cabo este proyecto, ya que es de carácter cualificado. Para su cálculo primero se aproxima el valor monetario de una hora de trabajo y se multiplica por las 256 horas totales para completar todas las actividades requeridas.

En España, 39000 € al año es el salario medio de un Ingeniero Informático según el portal Glassdoor¹, que se traduce a 3250 € al mes. Suponiendo una jornada semanal de 40 horas, que al mes asciende a 160 horas, entonces:

$$\text{salario por hora} = \frac{\text{sueldo al mes}}{\text{horas totales al mes}} = \frac{3250 \text{ euros}}{160 \text{ horas}} = 20,3125 \text{ euros/hora.}$$

En la tabla 7.2 se puede observar un desglose del tiempo invertido en cada actividad del trabajo y los correspondientes costes monetarios obtenidos mediante la fórmula $\text{salario por hora} \times \text{tiempo total actividad}$.

Fase	Tiempo	Coste
Reuniones con los tutores	6 horas	121.875 €
Revisión bibliográfica	120 horas	2437.5 €
Diseño del DSL	45 horas	914.0625 €
Codificación y verificación del DSL	50 horas	1015.625 €
Redacción de la memoria	35 horas	710.9375 €
Total	256 horas	5200 €

Tabla 7.2: Actividades con el tiempo invertido en ellas y su coste monetario.

¹Enlace: https://www.glassdoor.es/Sueldos/ingeniero-de-software-sueldo-SRCH_K00,21.htm.

Apéndice A

Recursos de interés

A.1. Enlace al diagrama UML en diagrams.net

El diagrama de clases UML al completo se puede encontrar en
<https://app.diagrams.net/#G1clFeHpLwclZ5ET0EuHlucqTwezdfw33U>

A.2. Enlace al documento con todos los registros encontrados en formato BibTeX

Un documento recopila todos los registros encontrados durante la revisión bibliográfica. Se puede encontrar en
<https://drive.google.com/file/d/1e7V6Z7R0veqUvLiUaSrEm7RVabKjWLRG/view?usp=sharing>

Bibliografía

- [1] Github, 2008. URL: <https://github.com/>.
- [2] R K Bull, P D Edwards, P M Kemp, S Fry, and I A Hughes. Bone age assessment: a large scale comparison of the greulich and pyle, and tanner and whitehouse (tw2) methods. *Archives of disease in childhood*, 81(2):172–173, 1999.
- [3] Jung-Ah Choi, Young Chul Kim, Seon Jeong Min, and Eun Kyung Khil. A simple method for bone age assessment: the capitolhamate planimetry. *European radiology*, 28(6):2299–2307, 2018.
- [4] Universidad de La Laguna. Puntoq es la herramienta de búsqueda de información de la universidad de la laguna.
- [5] Albert Einstein. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. (German) [On the electrodynamics of moving bodies]. *Annalen der Physik*, 322(10):891–921, 1905.
- [6] D. Giordano, C. Spampinato, G. Scarciofalo, and R. Leonardi. Automatic skeletal bone age assessment by integrating emroi and croi processing. In *2009 IEEE International Workshop on Medical Measurements and Applications*, pages 141–145, 2009.
- [7] Michel Goossens, Frank Mittelbach, and Alexander Samarin. *The L^AT_EX Companion*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1993.
- [8] Abdolaziz Haghnegahdar, Hamidreza Pakshir, and Ilnaz Ghanbari. Correlation between skeletal age and metacarpal bones and metacarpophalangeal joints dimensions. *Journal of dentistry (Shiraz)*, 20(3):159–164, 2019.
- [9] Donald Knuth. Knuth: Computers and typesetting.
- [10] Hyunkwang Lee, Shahein Tajmir, Jenny Lee, Maurice Zissen, Bethel Ayele Yeshiwas, Tarik K. Alkasab, Garry Choy, and Synho Do. Fully automated deep learning system for bone age assessment. *Journal of digital imaging*, 30(4):427–441, 2017.
- [11] Bo Liu, Yu Zhang, Meicheng Chu, Xiangzhi Bai, and Fugen Zhou. Bone age assessment based on rank-monotonicity enhanced ranking cnn. *IEEE access*, 7:120976–120983, 2019.
- [12] NATASHA MILIJASEVIC. The genius of the generalist. *Alternatives journal (Waterloo)*, 40(4):18–22, 2014.
- [13] Simukayi Mutasa, Peter D. Chang, Carrie Ruzal-Shapiro, and Rama Ayyala. Mabal: a novel deep-learning architecture for machine-assisted bone age labeling. *Journal of digital imaging*, 31(4):513–519, 2018.

- [14] Paperpile. *BibTeX format explained*, 2022. URL: <https://www.bibtex.com/g/bibtex-format/>.
- [15] Nan-Young Shin, Byoung-Dai Lee, Ju-Hee Kang, Hye-Rin Kim, Dong Hyo Oh, Byung Il Lee, Sung Hyun Kim, Mu Sook Lee, and Min-Suk Heo. Evaluation of the clinical efficacy of a tw3-based fully automated bone age assessment system using deep neural networks. *Imaging science in dentistry*, 50(3):237–243, 2020.