CAPÍTULO 6. DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE VIDEOJUEGO PARA LA ENSEÑANZA Y EVALUACIÓN DEL PC: BLUE ANT CODE (BAC)

En este capítulo, se describe la experiencia de desarrollo y validación de un entorno de **aprendizaje y evaluación basado en juegos**, con el objetivo general de analizar estrategias para el aprendizaje y evaluación del PC y las habilidades de PC de alumnos de Educación Primaria, además de otros objetivos que se detallan en el siguiente apartado.

6.1. Introducción y objetivos

Una vez validado los instrumento independiente del entorno, BCTt y cCTt, descritos en capítulos anteriores, de evaluación del PC en Educación Primaria, es posible la validación de otras estrategias de aprendizaje y evaluación dependientes de entornos concretos, ya que puede comprobarse si ha habido o no aprendizaje utilizando estos instrumentos como herramienta de pre-test y post-test y, de la misma forma, puede compararse los resultados de la evaluación del entorno con la evaluación a través del test.

Como se vio en el estado del arte de esta tesis (ver capítulo 2), los entornos que utilizan la estrategia basada en juegos (GBL) potencian el PC, pero ¿hasta qué punto? El hecho de que los alumnos de 4 y 5 años no hayan sido capaces de alcanzar algunos de los conceptos computacionales propuestos en la experiencia anterior con entornos robóticos (ver capítulo 5), no demuestra que éstos sean inalcanzables o no evaluables con otro tipo de estrategias de aprendizaje o enfoques de evaluación.

En este capítulo se diseña, desarrolla y valida mediante una experiencia en colegios de Educación Primaria, un **entorno de aprendizaje y evaluación del PC basado en GBL y mediante analíticas de aprendizaje en juegos o *Game Learning Analytics* (GLA)** como enfoque prometedor para evaluar el desarrollo del PC.

6.1.1. Contexto general

De esta forma, esta experiencia se apoya en las hipótesis, que se recuerdan a continuación (ver apartado 3.2 para más detalles):

- *HE2: Mediante diferentes estrategias de aprendizaje, pueden abarcarse las tres dimensiones del PC. La relación entre el marco 3D y las estrategias de aprendizaje*

es como se muestra en la Figura 10, de forma que se espera un aprendizaje que abarque las tres dimensiones del marco 3D mediante este tipo de entornos.

- *HE3: Los entornos que utilizan la estrategia basada en juegos (GBL) potencian el aprendizaje de habilidades de PC en Educación Primaria en contextos escolares, sobre en los niños más pequeños y si se aplica una componente colaborativa*.
- *HE4: es posible abarcar las tres dimensiones del marco 3D del PC mediante diferentes estrategias de evaluación como se muestra en la Figura 11,* de forma que también se espera una evaluación que abarque las tres dimensiones del marco 3D mediante este tipo de entornos

A continuación, se enumeran los **objetivos generales** asociados a esta experiencia:

- *OP3: Diseñar y validar empíricamente, herramientas para el aprendizaje y la evaluación del PC*, en particular: ***OP3b****: Desarrollar y validar una herramienta de aprendizaje y evaluación del PC en edades tempranas*,
- *OP4: Realizar experiencias empíricas que permitan analizar datos relativos tanto a habilidades de PC como a disposiciones y predisposiciones para el PC*; en concreto el ***OP4a****: Extraer y analizar datos para mejorar el diseño del currículo escolar relativo a PC según edad y género*; el ***OP4b****: Extraer y analizar datos para mejorar el diseño de herramientas de aprendizaje relativo a PC según edad y género*; y el ***OP4c****: Extraer y analizar datos para mejorar el diseño de herramientas de evaluación relativo a PC según edad y género.*

Para alcanzar los objetivos generales y como contribución a la investigación en este área, se ha desarrollado un entorno basado en el marco teórico previo; las teorías del constructivismo social [12] y del desarrollo cognitivo [13]; en marcos como la Teoría de la Actividad [14]; y en metodologías colaborativas (apartado 2.3). En base a la *HE2*, se ha desarrollado el entorno como instrumento de aprendizaje del PC en etapas tempranas a través de la programación visual por bloques, basado en el aprendizaje basado el problemas, el aprendizaje colaborativo, y el aprendizaje basado en juegos. Este entorno se llama **Blue Ant Code (BAC)** e incluye modos de juego individual y colaborativo.

Además, apoyándonos en la *HE3*, el entorno se ha diseñado en base a la estrategia GBL [5], [61] como vehículo demostrado para el desarrollo del PC (ver capítulo 2).

Después, se realizó un estudio de caso exploratorio en el que participaron 176 alumnos de educación. Se utilizaron los siguientes instrumentos: a) el BCTt, dirigido a evaluar las habilidades de PC en edades tempranas [8]; b) el

entorno desarrollado (BAC) como instrumento de aprendizaje y evaluación; y c) varios cuestionarios para complementar la evaluación. La aplicación de los tres instrumentos en el mismo caso de estudio pretende cubrir las tres dimensiones computacionales del marco 3D, basándonos en la *HE4* en lo que respecta a los enfoques de evaluación y funcionando como un *sistema de evaluación* (ver apartado 2.5 para más detalles).

6.1.2. Objetivos específicos

Este estudio pretende responder a las siguientes preguntas de investigación u objetivos específicos:

- **OE1**: ¿Es adecuada una estrategia basada en el juego como metodología de aprendizaje de la programación y herramienta de evaluación (a través de GLA) de las habilidades de PC a lo largo de la etapa de Educación Primaria?
- **OE2**: ¿Qué habilidades de PC puede n empezar a desarrollarse en cada etapa de Educación Primaria?
- **OE3**: ¿Cuáles son las diferencias entre los enfoques de aprendizaje colaborativo e individual basado en juegos en su aplicación en alumnos de Educación Primaria y qué estrategia es mejor para cada edad?

A continuación, se describe el desarrollo del entorno, para después detallar la experiencia en colegios que se realizó para recoger datos y, posteriormente el análisis de los mismos y los hallazgos obtenidos.

6.2. BAC como herramienta de aprendizaje

El diseño del entorno BAC se fundamenta en el marco teórico del capítulo 2. En este apartado se contextualizarán las teorías, estrategias y técnicas generales al entorno basado en juegos desarrollado. Además, se describen las premisas básicas en las que se fundamenta el diseño.

Dado que numerosos estudios indican que las habilidades relacionadas con el PC deben enseñarse a edades tempranas para fomentar el desarrollo cognitivo de los alumnos (apartado 2.2), **el entorno se dirige a la etapa de Educación Primaria**. Asimismo, como se ha analizado en el capítulo 2, el PC se puede desarrollar eficazmente a través del **aprendizaje de la programación** [4], [61], sobre todo a través de **bloques visuales** (apartado 2.4) que, además, si son integrados en **entornos de juego** mejoran la creatividad y las habilidades de resolución de problemas de los estudiantes [5]. Estos entornos de programación visuales pueden mejorar las habilidades y estrategias de

programación de los principiantes, así como fomentar un mayor compromiso con las tareas de programación. Además, pueden ayudar a los estudiantes en la modelización, la simulación y la resolución de problemas, que son clave en el desarrollo del PC [61].

Por lo tanto, merece la pena integrar elementos de juego en entornos visuales y explorar su influencia en la experiencia del alumno y su motivación para resolver problemas computacionales. Los entornos de programación basados en el juego, como BAC, pueden potenciar todas las dimensiones del marco 3D y mejorar especialmente las prácticas computacionales (Figura 10).

En cuanto a las estrategias de aprendizaje adecuadas para la enseñanza del PC en Educación Primaria, basándonos en nuestra hipótesis *HE2,* en este diseño de entorno combinamos tres de las cuatro estrategias más aplicadas y representadas en la literatura para este aprendizaje [4], esperando que mediante esta combinación se abarquen todas las dimensiones del marco 3D. La estrategia basada en proyectos se ha descartado, ya que los estudiantes necesitan estar comprometidos cognitivamente con la materia durante un largo periodo de tiempo [92], lo que excede el alcance de esta investigación. En el entorno BAC, la **estrategia basada en problemas** ha sido el principal enfoque adoptado; la **estrategia basada en el juego** se ha aplicado como vehículo de andamiaje para guiar y facilitar el proceso de resolución a través de la mecánica del juego; y la **estrategia colaborativa** se ha seleccionado como instrumento transversal para mejorar el proceso de aprendizaje.

Según Qian y Clark, la eficacia de un entorno de **aprendizaje basado en juegos** depende de que los diseños de los juegos se basen en teorías de aprendizaje establecidas y en elementos de diseño de juegos que hayan demostrado tener éxito [11]. Además, los resultados positivos de la **estrategia de aprendizaje basado en juegos** predominan en los estudios teóricos sobre el aprendizaje [170], ya que "*el diseño de juegos educativos es un proceso interdisciplinar que requiere una profunda comprensión de la teoría del diseño de juegos, conocimientos sobre el tema académico y fundamentos en las teorías del aprendizaje pertinentes*" [171]. Por estos motivos, se ha realizado una investigación teórica en el capítulo 2. De dicha investigación resaltamos, para el diseño del entorno basado en juegos, el constructivismo social de Vygotsky [12] y la teoría del desarrollo cognitivo de Piaget [13], ya que el constructivismo en educación postula un proceso de aprendizaje dinámico, colaborativo e interactivo mediante el cual el conocimiento es creado activamente por el propio alumno. Así, la teoría sociocultural del aprendizaje, que sostiene que el aprendizaje tiene lugar en entornos sociales, activos y situados [11], [12], es uno de los principales fundamentos teóricos utilizados por los investigadores del aprendizaje basado en juegos [23], [172], [173].

El marco de aprendizaje constructivista de Papert es también relevante para entornos de aprendizaje basados en juegos, ya que ayuda a los alumnos a potenciar la interacción social, la cognición, el pensamiento de alto nivel y el PC [47], además, en consonancia con este marco, en los entornos de juegos virtuales los estudiantes resuelven los retos de aprendizaje mediante la interacción y la colaboración [4]. Por otra parte, la Teoría de la Actividad [14], proporciona un marco adecuado para analizar las necesidades, las tareas y los resultados a la hora de diseñar entornos de aprendizaje constructivistas, ya que sus supuestos son consonantes con los del constructivismo, el aprendizaje situado, el razonamiento basado en casos, la cognición social y la cognición cotidiana. Además, la Teoría de la Actividad ha sido ampliamente utilizada para proporcionar un marco operativo claro para el diseño de este tipo de entornos. Finalmente, la teoría del flujo es clave para fomentar la motivación en los juegos y el aprendizaje, ya que la actividad del jugador está impulsada por el placer y no por recompensas externas [11], [121], [174].

En cuanto al **aprendizaje colaborativo**, éste fomenta las habilidades de pensamiento crítico de forma mucho más eficaz que los entornos individuales [85]. Esto se traduce en mayores niveles de logro y mayor productividad, así como en relaciones más afectuosas, solidarias y comprometidas. Así, mediante este tipo de aprendizaje, se promueve una mayor salud psicológica, competencia social y autoestima que a través del aprendizaje individual [87]. Además, los equipos cooperativos alcanzan niveles de pensamiento más altos y retienen la información durante más tiempo que los alumnos que trabajan individualmente [88], [89].

En cuanto al aprendizaje de la programación de forma colaborativa, es destacable la importancia de los entornos de colaboración entre iguales para lograr experiencias de aprendizaje de programación significativas [167]. La reflexión es una estrategia que se utiliza a menudo en los estudios sobre experiencias de programación. Está relacionada con la mejora de las dimensiones de las prácticas computacionales y de las perspectivas computacionales, ya que los estudiantes revisan y piensan sobre su experiencia de programación, mejorando así su propio proceso de aprendizaje [61]. En un entorno colaborativo, los estudiantes no sólo reflexionan sobre su experiencia de programación, sino que también revisan y piensan sobre el rendimiento de la programación de sus compañeros. Además, pensar en voz alta, así como responder y aclarar las preocupaciones de los compañeros, también puede mejorar estas dos dimensiones del marco 3D de PC, especialmente las perspectivas computacionales [15], [60], [61]. Hainey *et al.* presentan una revisión bibliográfica sistemática de la investigación sobre el aprendizaje basado en juegos, y concluyen que son necesario más estudios que comparen el juego individual y el colaborativo para identificar sus beneficios pedagógicos en la etapa de Educación Primaria [175]. El entorno BAC se ha diseñado para que se pueda

cambiar entre el modo de juego individual y el colaborativo con el objetivo de poder comparar estas dos estrategias de aprendizaje.

Con las estrategias de **aprendizaje basadas en problemas**, la adquisición de conceptos se produce a través de escenarios definidos, guiados y presentados por los profesores. Sin embargo, en una estrategia de aprendizaje basada en juegos el alumno no recibe necesariamente una definición previa de los conceptos, sino que guía su propio aprendizaje libremente, motivado por la sensación de logro (Figura 10), por lo que la adquisición de conceptos puede no ser completa. Por el contrario, nuestra hipótesis es que, en un entorno de aprendizaje basado en el juego en el que el alumno debe superar retos, el dominio de las prácticas es esencial para progresar en el juego [61]. Por ejemplo, puede que los alumnos no sepan que están utilizando *secuencias*, porque no ha habido una explicación previa, pero si han sido capaces de completar un nivel en el que tienen que averiguar cuál es la secuencia óptima entre diferentes alternativas, queda patente que la práctica computacional de *probar y depurar* ha sido dominada. Además, nuestra hipótesis es que las prácticas y, sobre todo, las perspectivas computacionales se ven reforzadas por si el aprendizaje es colaborativo, dado que la negociación social del significado de los conceptos a aprender es una parte importante de los entornos colaborativos de resolución de problemas [176], [177].

Por último, en cuanto al despliegue, las tabletas digitales parecen ser dispositivos adecuados para los entornos de aprendizaje en edades tempranas ya que no requieren de dispositivos externos como el ratón o el teclado y el usuario manipula directamente los objetos. La integración de múltiples funciones dentro de un dispositivo y las interfaces táctiles son facetas clave que hacen que las tabletas sean adecuadas como herramientas de aprendizaje en las escuelas [178]. La colaboración entre compañeros mejora, dado que las tabletas digitales proporcionan una interacción más natural y directa con el contenido [179], [180] Además, Lin *et al.* concluyen que el uso de las tabletas potencia los resultados del aprendizaje, especialmente en los casos de grupos numerosos, ya que se produce una mayor colaboración entre compañeros y resultados de mayor calidad [181].

6.3. Adaptación de BAC al marco 3D

El entorno BAC se basa en las estrategias y teorías de aprendizaje discutidas anteriormente, toma como referencia el marco 3D del PC, y está en línea con la propuesta de Lye y Koh [61] de crear un entorno de aprendizaje de resolución de problemas basado en el construccionismo para apoyar todas las dimensiones computacionales del marco 3D.

Como se ha visto en el marco teórico de esta tesis, el PC es una asignatura importante en los planes de estudio nacionales de muchos países y su inclusión en la educación ha avanzado mucho en la última década, empezando ya en Educación Infantil en algunos países, como Australia o Japón [65]. Se está formando a los niños en PC, de forma que desarrollen el pensamiento independiente y la resolución de problemas y luego puedan aplicar estas habilidades a diferentes disciplinas o a la vida cotidiana. Sin embargo, siguen existiendo algunas dudas sobre la mejor manera de enseñar PC, cuándo comenzar dicha instrucción o qué enseñar [62], y son especialmente escasas las investigaciones sobre las prácticas computacionales en los primeros cursos [63]. Es importante, por tanto, adaptar el marco de referencia educativo a edades tempranas.

Para la categorización de las dimensiones del PC, nos referiremos al marco 3D [46] escogido para todas las experiencias en esta tesis, ya que su contexto es similar al del presente estudio. Sin embargo, como el entorno BAC está dirigido a alumnos más jóvenes que los del estudio de Brennan y Resnick y el entorno no es Scratch, el marco 3D se ha adaptado a un nivel de principiante y al entorno BAC según la Tabla 27.

Tabla 27. Dimensiones clave del marco 3D y su adaptación al nivel de principiante.

Dimensiones del marco 3D	Aspectos	Nivel principiante
Conceptos computacionales	Secuencias	Sí
	Bucles	Sí
	Eventos	No
	Paralelismo	No
	Condicionales	Sí
	Operadores	No
	Datos	No
Prácticas computacionales	Ser incremental e iterativo	Sí
	Probar y depurar	Sí
	Reutilizar y remezclar	No
	Abstraer y modularizar	Sí
Perspectivas computacionales	Expresar	Sí
	Conectar	Sí
	Cuestionar	Sí

Aunque existen datos sobre el aprendizaje progresivo de conceptos cuando los alumnos interactúan con Scratch o ScratchJr en diferentes grupos de edad [93], los conceptos computacionales seleccionados como adecuados para un nivel principiante, son aquellos que se ha demostrado que pueden ser alcanzados inicialmente por estudiantes de primaria [93], [95], [96], [182], y, por tanto, pueden ser evaluados por el BCTt [8]. Por ejemplo, aunque los eventos sencillos parecen alcanzables para los alumnos de primaria en un contexto de ScratchJr, el verdadero reto es dominar los eventos complejos que los alumnos de esta edad no demuestran [93]. Las prácticas y perspectivas computacionales seleccionadas son las que están relacionadas con los conceptos abordados [96]. Por ejemplo, aunque se sabe que abstraer es difícil para los estudiantes de Educación Primaria, esta práctica podría observarse mientras los estudiantes interactúan con el entorno BAC y con sus compañeros en el modo colaborativo [46], [96]. Sin embargo, la reutilización y la remezcla no se han incluido en este nivel principiante ya que BAC no es un entorno de creación de juegos, como lo es Scratch, por lo que no existe la opción de reutilización de código.

6.4. Desarrollo del entorno BAC

El desarrollo del entorno BAC incluye el videojuego compatible con múltiples plataformas, una API REST para la conexión con la base de datos relacional y módulos complementarios para el filtrado, la visualización y análisis de datos con GLA.

6.4.1. Diseño de juego

Teniendo en cuenta que el entorno se utilizaría en principio en colegios pero que tal vez se escalara en el futuro a otras plataformas, se decidió orientar el desarrollo hacia PC, Android, e iOS, de forma que se pudiese utilizar por ejemplo en el aula de ordenadores del centro escolar o bien en tablets iOS o Android si el centro dispusiera de ellas y, además, pudiera desplegarse en el futuro en plataformas como Google Play o Apple Store.

BAC está diseñado en base a los fundamentos teóricos analizados, para ser instrumento de aprendizaje como una herramienta de evaluación a través GLA. Se prestó especial atención a los elementos de diseño del juego, ya que la eficacia del aprendizaje basado en juegos depende de ellos [11]. Así, la colaboración, la complejidad, la competición, la estrategia, los retos adaptados para mantener la fluidez, los objetivos claros, la comunicación, la interactividad y el andamiaje son los principales elementos de diseño del juego implementados en el entorno. Asimismo, se han tenido muy en cuenta los preceptos de la experiencia del usuario y se ha adaptado el diseño a la

edad objetivo (por ejemplo, las transiciones en los diseños de los puzles, los bloques grandes que se pueden arrastrar, los decorados y los personajes coloridos y animados). Además, BAC tiene **dos modos de juego: individual y colaborativo,** que se seleccionan antes de empezar a jugar, como puede verse en la Figura 35.

Figura 35. Pantalla de selección de modo de juego: individual o colaborativo.



El juego se divide en **seis niveles** de resolución de problemas con grados de dificultad creciente, a los que se accede desde un menú principal (véase la Figura 36). Cada nivel está ambientado en un **puzle de tipo laberinto** diferente representado por un hormiguero en el que hay varias cámaras o salas conectadas, para que el protagonista pueda explorarlas. En el modo individual, los elementos del puzle se generan **aleatoriamente de forma procedimental**, con lo que el usuario se encuentra un puzle diferente cada vez que juega. Hay 4 elementos de juego: hormiga azul (personaje principal), hormiga roja (enemigo), hoja (objetos a recoger), y montón de hojas (meta). En cada nivel, el alumno se enfrenta al reto de resolver un problema computacional mediante instrucciones visuales basadas en bloques que pueden arrastrarse para ensamblar una pieza de código secuenciado, con el fin de guiar a la hormiga azul a través de varias cámaras del hormiguero, recogiendo una o más hojas, evitando eventualmente a la hormiga roja en el camino y, finalmente, llegando al montón de hojas. Cada nivel de dificultad creciente se centra en un concepto computacional del marco 3D, como se muestra en la Tabla 28.

Figura 36. Pantalla de selección de nivel.

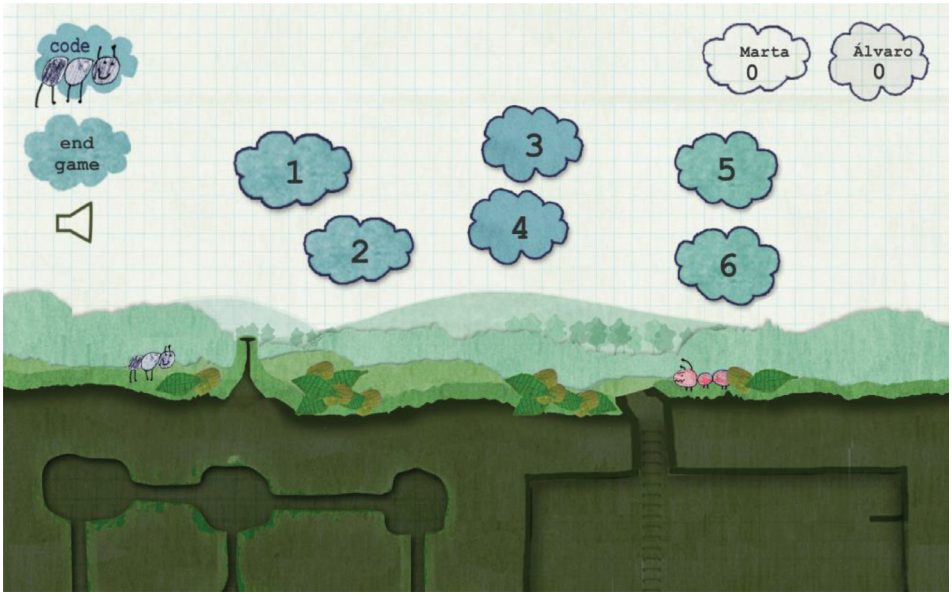


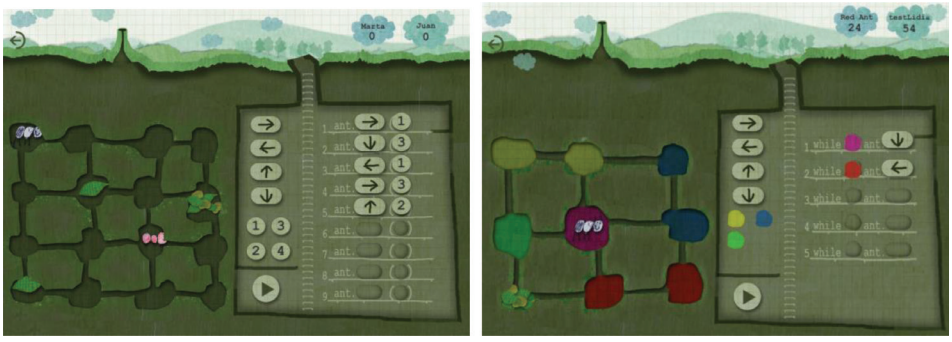
Tabla 28. Conceptos del marco 3D implementados en BAC por nivel.

Nivel	Concepto computacional					
	Secuencias		Bucles		Condicional (while)	
	Simple	Complejo	Simple	Complejo (anidado)	Simple	Complejo
1	x					
2		x				
3			x			
4				x		
5					x	
6						x

La interfaz del juego se divide verticalmente en dos áreas (véase la Figura 37). El puzle (hormiguero) aparece en la parte izquierda de la pantalla; los bloques de programación con los que construir el código y resolver el puzle están disponibles en la parte derecha. En el modo individual, los 4 elementos del juego

se colocan aleatoriamente en las cámaras del hormiguero, y el estudiante debe construir el código para resolver el reto. El modo de juego colaborativo se basa en las cuatro condiciones que Dillenbourg indica para establecer un contexto colaborativo activo en el que es probable que se activen los mecanismos de aprendizaje [86]: establecer las condiciones iniciales; sobre especificar el contrato de "colaboración" con un escenario basado en roles; guiar mediante andamiaje las interacciones productivas englobando las reglas de interacción en el medio; y supervisar y regular las interacciones. En cuanto a la asignación de roles en el modo colaborativo, el primer alumno establece un reto, colocando los elementos del juego donde desee; y el segundo asume el papel de resolver el reto (Figura 37). La hipótesis es que los dos alumnos, independientemente de su rol, aprenden el uno del otro, que no se trata de un juego competitivo sino cooperativo ya que ambos interactúan y se ayudan mutuamente.

Figura 37. Ejemplos de partida aleatoria en niveles 3 (izquierda) y 5 (derecha).



Para tener éxito y completar el nivel de juego, los estudiantes deben probar varios planes y encontrar la estrategia más eficaz para resolver el reto. Los jugadores más hábiles pueden adoptar estrategias que ya han utilizado para resolver nuevos problemas, trabajando en prácticas computacionales del marco 3D como la descomposición de problemas, la prueba, la abstracción o la iteración. Como elemento de juego atractivo, se ha establecido un sistema de puntuación, de modo que el alumno que plantea el reto gana más puntos cuanto más difícil es ese reto; y el estudiante que resuelve el reto gana más punto cuanto más óptima resulta la solución a ese reto. En cuanto a la dificultad del reto, será más difícil cuantos más pasos sean necesarios para su resolución; mientras que la solución óptima será la que menos instrucciones y, en segunda instancia, pasos, se necesiten para resolver el reto.

Al acceder a un nivel por primera vez, deberá realizarse una breve explicación a los niños del objetivo y mecánica del juego. A continuación, se detalla la

explicación por cada nivel. En el caso del modo individual, el rol del jugador 1 es asumido por el propio juego:

- Nivel 1:
  Objetivo del juego: La hormiga azul debe llevar la hoja hasta el montón de hojas sin pasar por la casilla de la hormiga roja
  Mecánica: El jugador 1 coloca los elementos en el puzle. El jugador 2 debe conseguir el objetivo del juego colocando las instrucciones "arriba", "abajo", "izquierda", "derecha" en el orden adecuado.

- Nivel 2:
  Objetivo del juego: La hormiga azul debe llevar las hojas hasta el montón de hojas sin pasar por la casilla de la hormiga roja
  Mecánica: Idéntica a la del nivel 1, aunque el laberinto contiene más casillas y se puede necesitar un mayor número de instrucciones para resolverlo que en caso del nivel 1.

- Nivel 3:
  Objetivo del juego: La hormiga azul debe llevar las hojas hasta el montón de hojas sin pasar por la casilla de la hormiga roja.
  Mecánica: El jugador 1 coloca los elementos en el puzle. El jugador 2 debe conseguir el objetivo del juego colocando las instrucciones "arriba", "abajo", "izquierda", "derecha" en el orden adecuado, incorporando el número de veces que se repite cada una.

- Nivel 4:
  Objetivo del juego: La hormiga azul debe llevar las hojas hasta el montón de hojas
  Mecánica: El jugador 1 coloca los elementos en el puzle. El jugador 2 debe conseguir el objetivo del juego colocando las instrucciones "arriba", "abajo", "izquierda", "derecha" en el orden adecuado, incorporando el número de veces que se repiten cada dos instrucciones agrupadas. Este nivel entraña bastante dificultad, ya que las instrucciones agrupadas se repiten las veces indicadas de forma secuencial, pero en grupos de dos. Por ejemplo, si un grupo en el que se han incorporado las instrucciones "arriba" y "abajo" y se ha indicado que se repita tres veces, la ejecución será la siguiente: "arriba", "abajo", "arriba", "abajo", "arriba", "abajo". Es posible que este nivel requiera más tiempo de explicación a los alumnos.

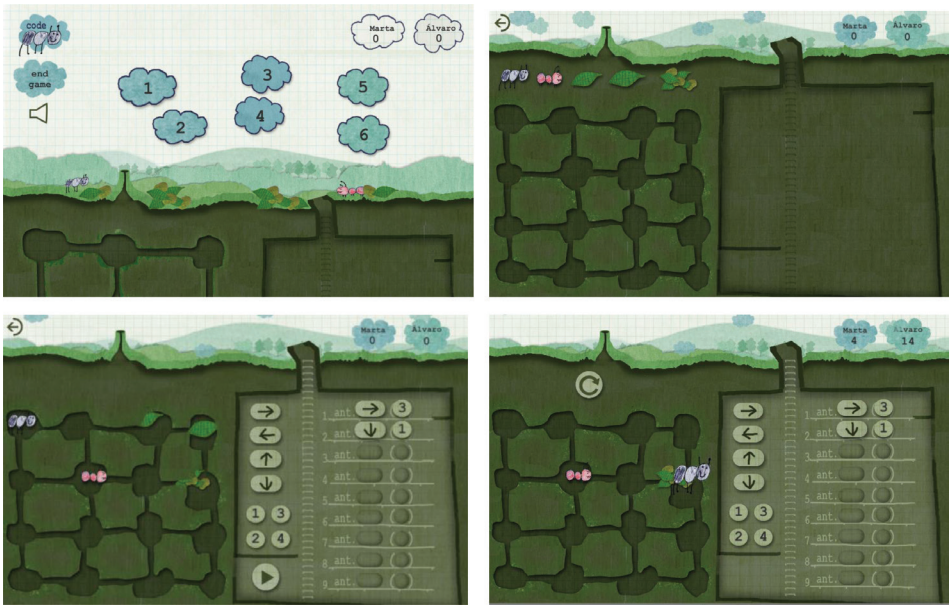
- Nivel 5:
  Objetivo del juego: La hormiga azul debe llegar hasta el montón de hojas
  Mecánica: El jugador 1 coloca los elementos en el puzle. El jugador 2 debe conseguir el objetivo del juego colocando las instrucciones "arriba", "abajo", "izquierda",

"derecha", incorporando un color que determinará en qué casillas se realizará la acción. Por ejemplo, si se incorpora "amarillo" y "derecha", todas las veces en las que la hormiga esté en una casilla amarilla, avanzará hacia la derecha. Este nivel entraña bastante dificultad sobre todo la primera vez por lo que es posible que se requiera más tiempo de explicación a los alumnos.

- Nivel 6:
  Objetivo del juego: La hormiga azul debe llegar hasta el montón de hojas
  Mecánica: Es la misma que en el nivel 5 pero el laberinto contiene más casillas con lo que es más difícil de resolver y probablemente se necesiten más instrucciones para ello.

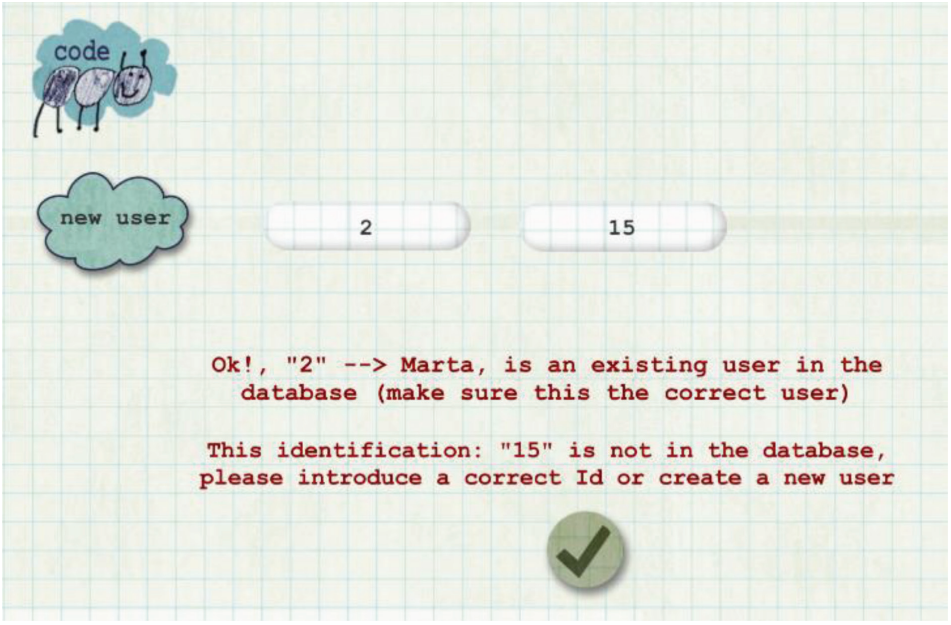
En la Figura 38, se muestra un ejemplo de partida colaborativa en el nivel 3.

Figura 38. Ejemplo de partida en el nivel 3.



BAC cuenta con un sistema de registro de estudiantes por el que se identifica a los jugadores en una base de datos para poder seguir su progresión en el tiempo. Los estudiantes pueden elegir un apodo o pseudónimo, y se les da un número de identificación único a cada uno de ellos, que es con el que la aplicación trabaja.

Figura 39. Pantalla de registro y creación de nuevo usuario, mediante apodo y número de identificación.

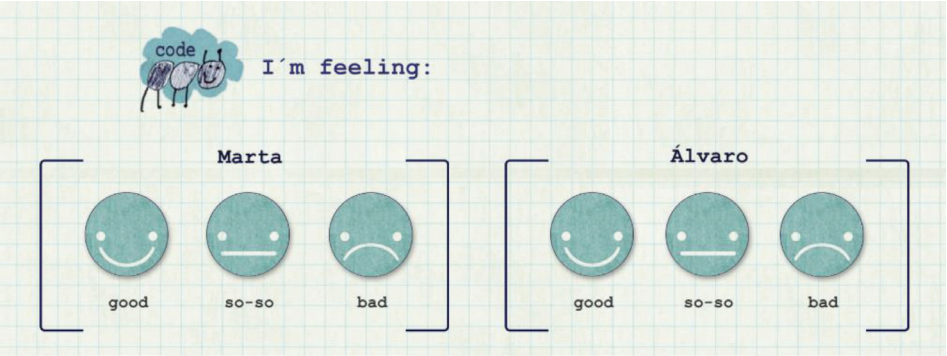


El sistema de monitorización registra cada paso del juego a bajo nivel (cada micro acción del jugador), mientras se juega, recogiendo datos en tiempo real en una base de datos remota para ser analizados y mediante los cuales se pueden evaluar posteriormente los conceptos computacionales del marco 3D, las prácticas computacionales y, hasta cierto

punto, las perspectivas computacionales (según la hipótesis *HE4*). Los datos recogidos incluyen información sobre el tiempo que se ha tardado en plantear y resolver los problemas, el grado de optimización del camino planteado en la solución o el número de partidas ganadas por un jugador. En el anexo B.2 se detalla el esquema completo de la base de datos.

Por último, para evaluar las perspectivas computacionales, se pueden recoger datos cualitativos mediante la observación directa de los alumnos mientras interactúan tanto con el entorno como con sus compañeros, especialmente en el modo de juego colaborativo. Además, para recoger datos adicionales sobre la motivación, se pregunta a los estudiantes a través de la interfaz de usuario sobre su estado de ánimo antes y después de la sesión de juego como se puede observar en la Figura 40.

Figura 40. Pantalla de estado emocional en el modo colaborativo.



6.4.2. Implementación

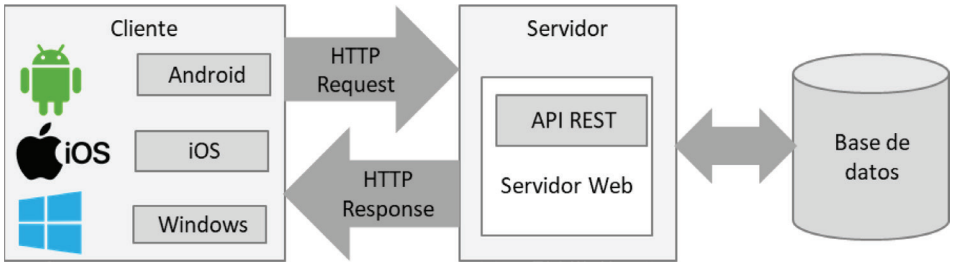
Para el desarrollo del entorno BAC, se utilizó Unity, que es un motor de videojuego multiplataforma creado por Unity Technologies, que permite a los desarrolladores de videojuegos asociar la implementación de imágenes, escenarios y mecánicas de juego de una manera rápida y eficaz gracias a un conjunto de librerías incluidas en el programa[1]. Además, cuenta con una gran flexibilidad para la exportación a diferentes plataformas y dispositivos.

Para el proyecto se han utilizado versiones LTS (Long Term Support), por su estabilidad y soporte a largo plazo. Por otro lado, cabe destacar también el uso del programa Unity Hub[2] de Unity Technologies, que permite una mejor administración del proyecto y de sus distintas versiones a lo largo del tiempo de desarrollo. Como entorno de desarrollo, se ha utilizado el IDE Visual Studio[3] compatible con múltiples lenguajes de programación (en este caso se ha optado por el lenguaje C#) y entornos de desarrollo web.

Para conectar con la base de datos SQL creada en servidor Web, también se desarrolló una API REST basado en el framework .NET. El protocolo REST permite separar totalmente la interfaz de usuario del servidor y el almacenamiento de datos, con lo que se mejora la portabilidad de la interfaz a otras plataformas, aumenta la escalabilidad y seguridad de los proyectos y permite que los distintos componentes de los desarrollos se puedan evolucionar de forma independiente y escalable. El framework .NET permite la utilización del mismo IDE Visual Studio que se utilizó para la programación de la lógica de juego, para el desarrollo de la API (véase la Figura 35).

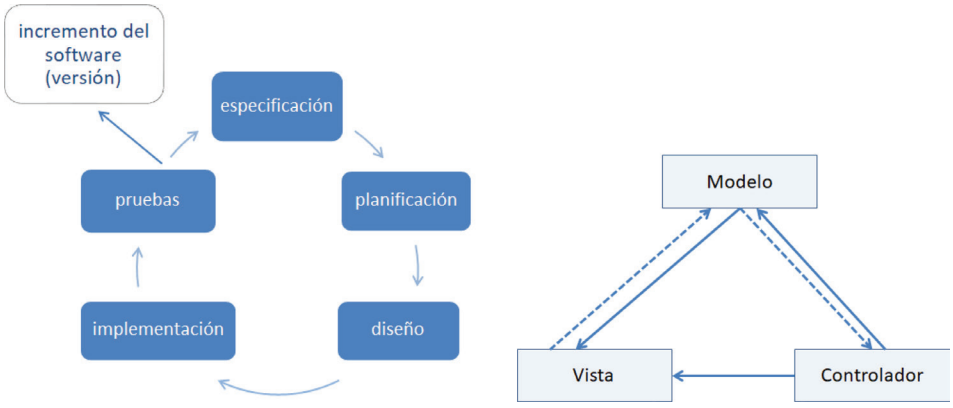
[1] https://unity.com/es
[2] https://unity.com/es/unity-hub
[3] https://visualstudio.microsoft.com/es/

Figura 41. Esquema de arquitectura REST.



Para el desarrollo del juego, se siguió un proceso unificado ágil (PU), con una estrategia de desarrollo iterativa [183] en la que se van atravesando las fases clásicas del PU, las cuales contienen varias iteraciones cada una, en las cuales se recorren las diferentes actividades de forma flexible, refinando el proyecto y obteniendo un producto ejecutable o software incremental al final de cada iteración, con algunas de las funciones de la aplicación. En las primeras iteraciones se comienza por construir las funciones elementales de la aplicación, con lo que predominan las disciplinas de especificación y planificación. En posteriores iteraciones, se va ampliando el producto y se va dando más o menos peso a otras disciplinas según sea necesario. Según el PU, se combina el ciclo de vida iterativo y el desarrollo dirigido por el riesgo en una descripción consistente y bien documentada. Así, cada una de las iteraciones da como resultado un incremento de software consistente en un subconjunto estable y ejecutable del producto final [184] como puede verse en la parte izquierda de la Figura 42.

Figura 42. Actividades de una iteración del PU y diagrama MVC.



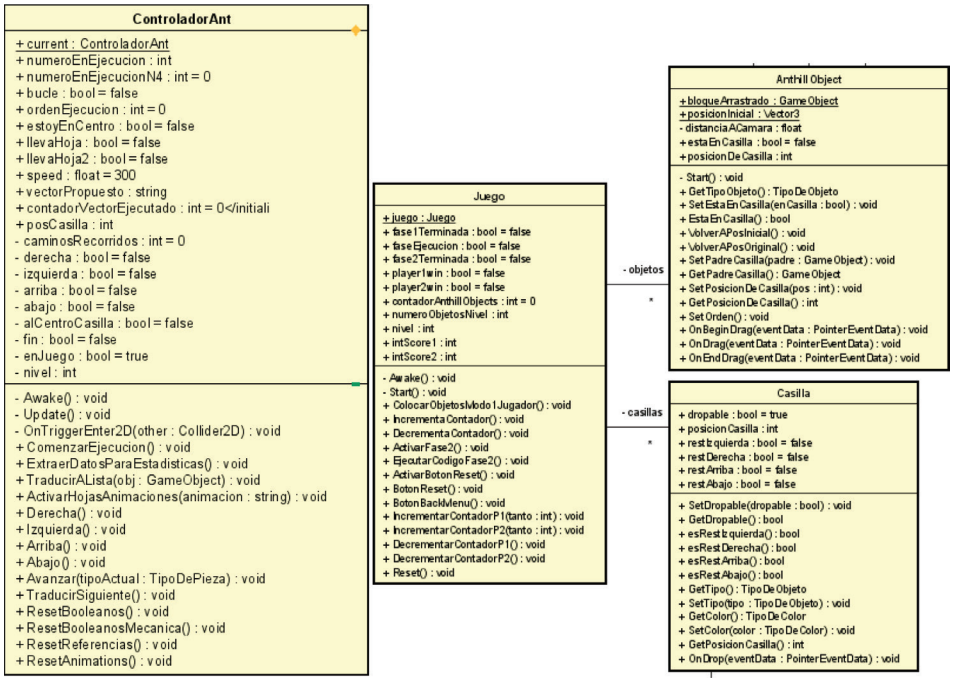
El motor de juego Unity utiliza como base el patrón de diseño entidad-componente (EC), en un nivel por encima del diseño orientado a objetos (POO), ya que, en Unity, a cada entidad (instancia de *GameObject*) se le puede asociar un componente de tipo script, donde se programaría el comportamiento de esa entidad. En diseño de videojuegos, este tipo de patrón se suele utilizar con considerable frecuencia. De esta forma, se suele definir la jerarquía de los elementos que forman parte de la aplicación o juego y después se definen los comportamientos de dichas entidades. Este tipo patrón es útil en el caso de haber herencia múltiple, ya que resuelve algunos problemas relacionados con ello.

Sin embargo, pese a que el patrón entidad-relación ayuda a desfragmentar y organizar el código, en proyectos complejos este tipo de estructura produce demasiada desfragmentación, disminuyendo la cohesión del proyecto y dificultando el desarrollo y las posibles actualizaciones futuras. Por ello, se ha considerado más adecuado abordar el proyecto bajo una perspectiva de patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC), que separa el software en tres componentes: Modelo (datos/representación de la información), Vista (Interfaz/detección) y Controladores (Decisión/acción) (véase la Figura 42).

Este patrón de arquitectura de software MVC se basa en las ideas de reutilización de código y separación de conceptos, características que se buscan en este proyecto y que facilitan la tarea de desarrollo y de mantenimiento posterior. En el siguiente diagrama se muestra la relación entre las componentes del MVC. Las líneas sólidas indican asociación directa y las punteadas, indirecta:

El desarrollo de juegos tiene un flujo de acción típico de espera por una entrada del usuario u otra acción o disparador (*trigger*) que envía una notificación a los eventos apropiados y se decide qué hacer en respuesta, actualizando los datos correspondientes. Este flujo de acción concuerda perfectamente con el patrón MVC, ya que se divide el proceso en datos, interfaz y decisiones. Dado que el motor de juego Unity, tienen una estructura EC, como se ha mencionado anteriormente, algunas clases que encapsulan funcionalidades no encajan en el modelo MVC y se tratarán como componentes aislados, incrementando la cohesión y flexibilizando el patrón MVC para adaptarse al diseño de videojuegos con un motor como Unity. En la Figura 43 puede verse la clase que controla al personaje principal (ControladorAnt), las clases principales que regulan el progreso del jugador junto a la lógica de las casillas de cada laberinto y los objetos de su interior.

Figura 43. Algunas clases de BAC (diagrama simplificado de algunas clases, UML).



6.4.3. Base de datos y módulos de análisis

A medida que se va desarrollando una partida entre dos usuarios (modo experiencia en colegios) o sólo con un usuario (modo masivo), se van guardando los datos de juego en una base de datos SQL relacional. Estos datos también se guardan en un archivo de registro (log) como copia de seguridad local, ya que se encontraron problemas con la estabilidad de la conexión a internet de los colegios. Los archivos de registro que se van generando siguen la misma estructura que hay en la base de datos, de forma que, si posteriormente se desea copiar los datos a la base de datos, la tarea sea lo más automática posible. En la Tabla 29 se muestra el diagrama entidad-relación de la base de datos (para más información sobre cada campo de la base de datos ver anexo B.2).

Además de la API creada para la acceder a la base de datos, se han creado también los siguientes módulos asociados para el análisis de datos, de forma que se puedan realizar dicho análisis de forma sistemática y automatizada:

- Aplicación para el **tratamiento de ficheros locales** generados por BAC, en donde se analiza cada archivo local de registro (log). Esta aplicación se desarrolló con el

lenguaje Python y el entorno de desarrollo PyCharm. La aplicación recibe los datos de un puzle (partida) y devuelve la solución óptima mediante implementaciones del algoritmo A* adaptadas a cada nivel del juego (véase la Figura 44) [185].

Tabla 29. Diagrama entidad relación de la base de datos.

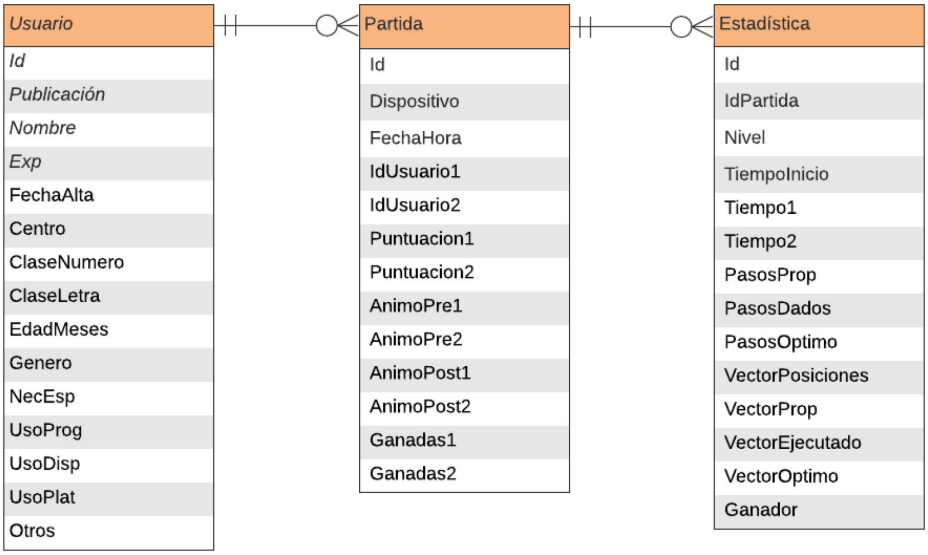
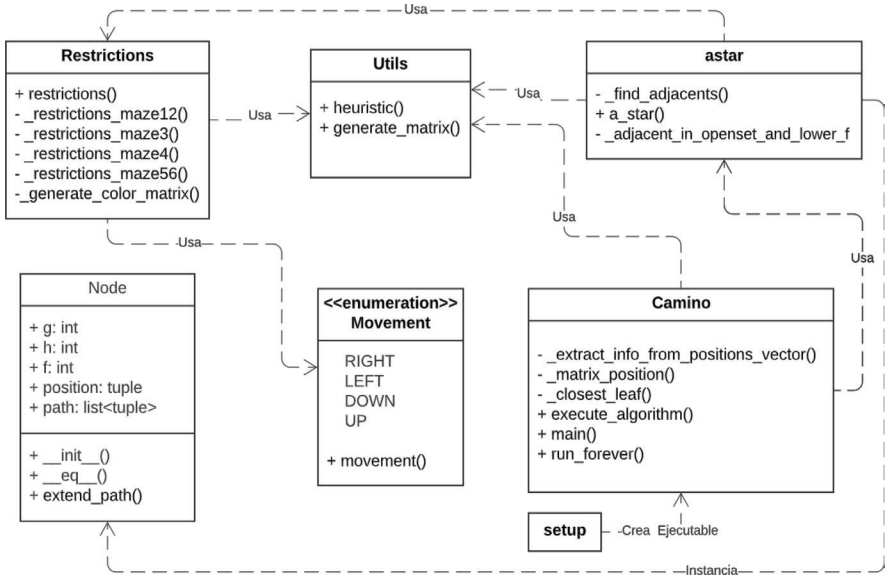
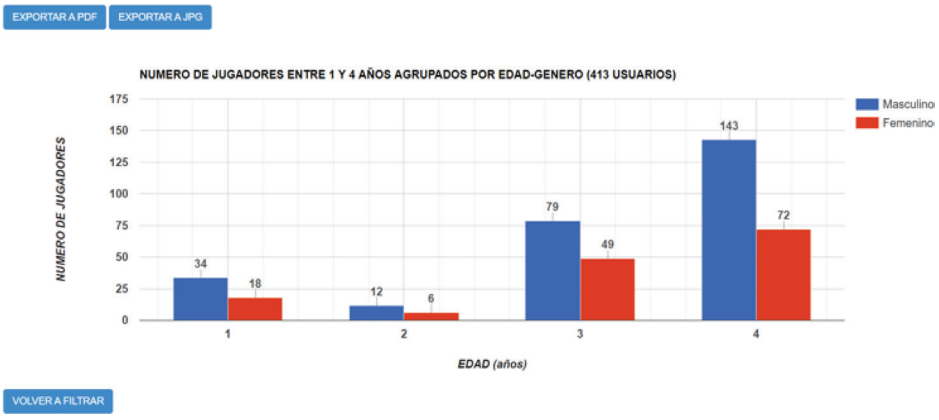


Figura 44. Diagrama simplificado del módulo para el tratamiento de ficheros locales generado por BAC.



- Aplicación web para facilitar la **visualización y análisis** de datos de BAC. Esta aplicación utiliza la arquitectura MVC, se desarrolló utilizando Spring y Google Charts, y muestra la información de la base de datos en forma de gráficas (véase la Figura 45) [186].

Figura 45. Ejemplo de gráfico de visualización de datos de BAC.



- Finalmente, para el **postproceso de datos** pormenorizado de la base de datos en un momento estático de tiempo, se ha realizado un módulo utilizando el entorno PyCharm con el lenguaje Python y las librerías matplotlib, pandas, sklearn (para la **clusterización** de los datos) y mpl_toolkits.

6.5. Caso de estudio en Educación Primaria

Para poder validar BAC como instrumento de aprendizaje y evaluación y, además, responder a las preguntas de investigación, se realizó un caso de estudio en 3 colegios diferentes, en la etapa de Educación Primaria, utilizando BAC en modos individual y colaborativo.

6.5.1. Sistema de evaluación propuesto

Como se vio en el apartado 2.5, evaluar el PC es fundamental para la inclusión del PC en el currículo y hacerlo mediante *sistemas de evaluación* es recomendable para así evaluar un aprendizaje más profundo combinando diferentes medidas de datos [148], [161]. En este caso, planteamos un *sistema*

de evaluación compuesto por tres medidas de datos que se enumeran a continuación, junto la descripción del impacto esperado de cada uno de los enfoques de evaluación en el marco 3D de referencia según la hipótesis HE4 (véase la Figura 11):

1) **BCTt** [8]: el instrumento independiente del entorno BCTt, desarrollado y validado en el marco de esta tesis (capítulos 4 y 5), está enfocado a la etapa de Educación Primaria, se centra en los conceptos computacionales y, parcialmente, en las prácticas computacionales, mientras que ignora las perspectivas computacionales.

2) **Entorno BAC**: en apartados previos se subrayó la idoneidad de evaluar el PC a través de información dinámica en tiempo real a través de GLA y de esta forma analizar las habilidades y progresión del alumno a lo largo del tiempo. A través del análisis de las acciones o del código propuesto por el alumno en el entorno BAC, se podrían identificar las prácticas computacionales utilizadas [187] y, a través de las acciones realizadas (por ejemplo, analizando el estilo de juego de los alumnos en el modo colaborativo), se podrían evaluar en cierta medida las perspectivas computacionales. La evaluación del PC a través de GLA está en consonancia con la teoría del flujo, ya que el aprendizaje a través del juego puede continuar sin problemas mientras la recogida de datos se maneja de forma discreta para que el flujo se mantenga [188][190].

3) **Datos cualitativos**: mediante la recogida de datos cualitativos, a través de cuestionarios y observación directa de los alumnos mientras interactuaban con el entorno y sus compañeros se pueden evaluar las perspectivas computacionales del marco 3D. Para ello, se elaboraron varios cuestionarios para completar y comparar los datos recogidos, en concreto los relacionados con la motivación de los alumnos, sus características, habilidades, intereses y cuestiones de contexto (véase la Tabla 30). Estos cuestionarios estaban dirigidos tanto a los alumnos como a los profesores y se utilizaron en diferentes momentos de la experiencia. Los resultados procedentes de los cuestionarios se reportan descriptivamente sólo para ítems únicos e independientes (no para conjuntos de ítems que supuestamente componen una escala). En este sentido, no es necesario analizar la fiabilidad de los cuestionarios en su conjunto.

Tabla 30. Resumen del contenido de los cuestionarios.

Número	Objetivo	Punto temporal	Submuestra	Título descriptivo
1	Estudiantes	0	A, B, C	Datos del alumno (por ejemplo, edad, sexo) y experiencia previa con juegos, dispositivos y aplicaciones digitales y programación
2	Estudiantes	0	A, B, C	Rendimiento y calificaciones anteriores del colegio, preferencias e intereses por las distintas asignaturas y aspectos motivacionales antes del periodo de juego
3	Estudiantes	2	A, B	Aspectos motivacionales y preferencias después del periodo de juego
4	Profesores	0	A, B, C	Características de los alumnos, necesidades especiales, rendimiento escolar y otros
5	Profesores	0	A, B, C	Características de la escuela, metodologías y materias relacionadas con la programación
6	Profesores	0	A, B, C	Preocupaciones de los profesores sobre la programación y las metodologías basadas en el juego (antes de jugar)
7	Profesores	2	A, B	Preocupaciones y opiniones de los profesores sobre el entorno BAC después del periodo de juego

6.5.2. Participantes y procedimiento

Los participantes en este estudio fueron una muestra de 176 alumnos de primaria de tres colegios públicos españoles. Como se muestra en la Tabla 31, la investigación se centró en una etapa educativa de cada colegio. El procedimiento de muestreo es intencional y la muestra se subdivide según las clases naturales en los colegios, tal y como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 31. Ciclo de Educación Primaria respecto a cada colegio y edad de los alumnos.

Número de colegio	Ciclo de Educación Primaria	Cursos	Edad de los alumnos
Colegio 1	Primero	1º y 2º	5 - 8
Colegio 2	Segundo	3º y 4º	7 - 10
Colegio 3	Tercero	5º y 6º	9 - 12

Tabla 32. Número de estudiantes (n) en cada submuestra.

Descripción	Identificador	Ciclo de Educación Primaria		
		Primero	Segundo	Tercero
Modo individual	A	A1: n = 23	A2: n = 28	A3: n = 25
Modo colaborativo	B	B1: n = 23	B2: n = 26	B3: n = 23
Grupo de control	C		C2: n = 28	

Para garantizar que la investigación se realice en las mismas condiciones en cada escuela, se elaboró un protocolo de actuación (véase el anexo B.1). Como se muestra en la Tabla 33, en el momento 0 los alumnos y los profesores rellenaron los cuestionarios (Tabla 30). En consecuencia, el BCTt se administró como pre-test de forma concurrente a cada sujeto siguiendo el protocolo de actuación. Para garantizar que las habilidades o la experiencia previa de los estudiantes en el uso de dispositivos informáticos no interfieran en los resultados del test, los BCTt se imprimieron y se rellenaron por los estudiantes en papel.

Tabla 33. Submuestras consideradas e instrumentos utilizados en los diferentes puntos de tiempo de la investigación (por semanas).

Instrumento	Submuestras				
Cuestionarios	A, B, C		A, B		
BCTt	A, B, C		A, B, C		A, B
BAC		A, B			
Semana	0	1 a 5	6	7 a 15	16
	Tiempo 0 Pre-test	Tiempo 1	Tiempo 2	Post-test	Tiempo 3 retención

A continuación, los sujetos de las submuestras A y B jugaron con el entorno BAC durante 5 semanas utilizando tabletas digitales. Cada semana, cada sujeto de cada submuestra jugó durante 10 minutos, independientemente del modo de juego. La submuestra A jugó en el modo individual; la submuestra B jugó en el modo colaborativo, en el que dos estudiantes emparejados al azar juegan al mismo tiempo en la misma tableta digital, uno de los cuales asume el papel de establecer el reto mientras el otro intenta resolver el problema planteado. Los roles en el modo colaborativo se intercambiaron entre los estudiantes para que cada sujeto asumiera ambos roles de forma equitativa. Durante el tiempo de juego (Tiempo 1), los datos de juego cuantitativos de cada estudiante fueron recogidos automáticamente por BAC, sin alterar el flujo del juego, y guardados en la base de datos remota. También se recogieron datos cualitativos durante el tiempo de juego a través de la observación directa, en cuanto a la forma de reflexionar ante los retos propuestos, la interacción con los compañeros o las dificultades que expresaron oralmente.

Al final del periodo de juego de 5 semanas (tiempo 2), se volvió a administrar el BCTt a los sujetos de las submuestras A y B, como post-test, así como a la submuestra C como grupo de control. Además, los alumnos y los profesores de las submuestras A y B rellenaron los cuestionarios.

Por último, 10 semanas después de la finalización del periodo de juego, en el momento 3, se administró el BCTt a los sujetos de las submuestras A y B, para comprobar los aspectos relacionados con la retención del aprendizaje.

Al final de la semana 16, el equipo de investigación analizó cuidadosamente todos los datos cuantitativos y cualitativos recogidos.

6.6. Resultados y discusión

A continuación, se describen los resultados de la experiencia en los colegios.

6.6.1. BCTt

El BCTt se administró en los tiempos 0, 2 y 3 (véase la Tabla 33). Como se esperaba, la fiabilidad como consistencia interna asociada a las puntuaciones del BCTt es alta (Alfa de Cronbach, submuestras A y B: tiempo 0, α = .803; tiempo 2, α = .801; tiempo 3, α = .837). A continuación, se analizaron los datos del BCTt recogidos para determinar si se había producido el aprendizaje esperado. Considerando la puntuación del BCTt como la suma de todas las respuestas correctas a lo largo de los 25 ítems del test, se realizó un análisis inicial de los resultados de la puntuación en el pre-test. Dado que la población de la muestra parece estar distribuida normalmente, los sujetos se dividieron intencionadamente en submuestras (véase la Tabla 32). A continuación, se aplicó la prueba *t* de Student a los resultados, por separado en cada etapa educativa, para las submuestras A y B (sujetos que jugarían con BAC en una etapa posterior: A: modalidad de juego individual; B: modalidad de juego colaborativo), con el fin de evaluar la significación estadística de la diferencia entre las dos medias poblacionales. Los resultados no muestran diferencias significativas en las puntuaciones de las pruebas (p >. 05) entre los grupos del mismo grado, por lo que las submuestras A y B están equilibradas y pueden ser comparadas en una fase posterior como se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. Resultados de la prueba t de Student de la puntuación del BCTt como pre-test.

Ciclo de Educación Primaria	Curso	Edad de los alumnos	Submuestra	*n*	Media	Desviación estándar	*t*	*p*
Primera	1	5 -7	A1	23	17.00	3.03	0.24	**0.81**
			B1	23	16.78	3.03		
Segunda	4	8 - 10	A2	28	21.79	2.99	0.53	**0.60**
			B2	26	21.35	3.15		
Tercera	5	9 - 11	A3	25	21.40	2.47	- 1.60	**0.12**
			B3	23	22.43	1.95		

Tras el periodo de juego de cinco semanas, se realizó un análisis primario de los resultados: se aplicó la prueba *t* de Student entre los resultados de las puntuaciones del pre-test y del post-test, obteniendo en general mejores

resultados en las puntuaciones medias del post-test en las submuestras A y B (véase la Tabla 35). Dado que $p < .05$, existe una significación estadística en la diferencia entre las puntuaciones del pre-test y post-test en casi todas las submuestras A y B, en comparación con los resultados obtenidos entre pre y post-test en la submuestra C (grupo de control) en la que no hubo una ganancia de puntuación significativa ($p > .05$). Estos resultados nos llevan a concluir que se produjo un aprendizaje efectivo durante el periodo de juego, considerando las puntuaciones globales de cada alumno, tanto en la modalidad individual como en la colaborativa; sin embargo, en la modalidad colaborativa de 5º curso (submuestra B3), no se observó una ganancia significativa ($p = .878 > .05$). Esto era de esperar, ya que los resultados del pre-test en esta submuestra ya eran altos, lo que dejaba poco margen de mejora y, además, los alumnos en general jugaron menos tiempo en la modalidad colaborativa; sin embargo, una hipótesis alternativa es que los alumnos mayores aprovechan menos la modalidad colaborativa que los más jóvenes.

Además, el tamaño del efecto fue grande (*d* de Cohen > 0,8) en los cursos inferiores y medio en los superiores (*d* de Cohen > 0,5), quizá debido a que el BCTt tiene una fiabilidad menor en los alumnos de más edad, excepto en la submuestra B3, que es un resultado muy favorable, ya que el tiempo total de juego fue de sólo 50 minutos por alumno (diez minutos cada semana).

Los resultados de las puntuaciones en el BCTt en todos los cursos fueron más altos de lo esperado, e incluso se observó un efecto techo en los grados superiores, como se puede observar en la Tabla 36, por lo que se llevó a cabo un segundo análisis, centrándose exclusivamente en los sujetos de percentiles bajos en cada submuestra experimental (calculado a partir de los resultados del pre-test). Los resultados muestran ganancias muy significativas entre las puntuaciones del pre-test y el post-test cuando se consideran los primeros cuartiles: Q1 (véase la Tabla 37), y Q2 (véase la Tabla 38), en todas las submuestras y modalidades de juego, considerando $\alpha = .01$ (prueba *t* de Student entre las puntuaciones de la modalidad individual pre-test y post-test Q1: grado 1, $p = .0065$; grado 5, $p = .0015$). La única excepción fue en la modalidad colaborativa de 5º curso, en la que no hubo una ganancia significativa considerando $\alpha = .01$ ($p = .0248$), pero sí cuando se consideró $\alpha = .05$. Resultados similares se obtuvieron en el cuartil Q2, que muestra resultados significativos entre las puntuaciones pre-test y post-test en todas las submuestras, considerando $\alpha = .01$ (prueba *t* de Student entre las puntuaciones pre-test y post-test de la modalidad individual: curso 1, $p = .0042$; curso 5, $p = .0007$), excepto, de nuevo, en la modalidad colaborativa de 5º curso ($p = .447$).

Tabla 35. Comparación entre los resultados de las puntuaciones del pre-test y del post-test entre las distintas submuestras dependiendo del modo de juego (prueba t de Student).

Curso	Modo de juego BAC	Submuestra	*n*	Modo BCTT	Media	Desv. Std.	*t*	*p*	Tamaño del efecto Cohen *d*
1	Individual	A1	23	pretest	17.00	3.03	−2.63	0.012	0.903
				posttest	19.74	3.97			
	Colaborativo	B1	23	pretest	16.78	3.03	−2.29	0.027	0.804
				posttest	18.96	3.40			
4	Individual	A2	28	pretest	21.79	2.99	−3.38	0.001	0.522
				posttest	23.89	1.40			
	Colaborativo	B2	26	pretest	21.35	3.15	−3.83	0.000	0.615
				posttest	23.92	1.35			
	Grupo de control	C2	28	pretest	22.29	2.27	−0.372	0.711	0.292
				posttest	22.54	2.73			
5	Individual	A3	25	pretest	21.40	2.47	−2.62	0.012	0.619
				posttest	22.96	1.67			
	Colaborativo	B3	23	pretest	22.43	1.95	−0.15	0.878	0.037
				posttest	22.52	1.88			

Tabla 36. Percentiles por curso.

Curso	Submuestra	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Percentiles 25	50	75
1	A1	12.00	24.00	17.00	3.03	14.00	17.00	20.00
	B1	11.00	23.00	16.78	3.03	15.00	16.00	19.00
4	A2	14.00	25.00	21.79	2.99	19.00	23.00	24.00
	B2	15.00	25.00	21.35	3.15	18.00	22.50	24.00
5	A3	16.00	25.00	21.40	2.47	19.50	22.00	23.50
	B3	19.00	25.00	22.43	1.95	21.00	23.00	24.00

Además, se realizó una tercera comparación, esta vez dividiendo los ítems del BCTt según los conceptos computacionales que se abordan, y contando cuántos estudiantes contestaron correctamente los ítems en cada conjunto (es decir, si la submuestra es n = 23, la puntuación de 21 puntos en un conjunto significa que 21 de los 23 estudiantes lo contestaron correctamente).

Esta nueva puntuación, que está relacionada con cada concepto computacional, muestra resultados interesantes, ya que los ítems tienen una dificultad creciente y se esperan mayores ganancias en la puntuación en los conceptos más difíciles. De hecho, esta tendencia se confirmó empíricamente. Hubo una ganancia significativa en la prueba t de Student en los últimos 4 conceptos considerando α = .01 en cada submuestra experimental, por lo que el aprendizaje efectivo tiene lugar particularmente en relación con los ítems más difíciles del BCTt. La Figura 46 muestra las mejoras en la puntuación en el BCTt (diferencia de puntuación entre el pre-test y el post-test). Por ejemplo, para el nivel 6, la media de puntuación de la submuestra A1 fue de 11.90 en el pretest y de 18.20 en el post-test, por lo que la mejora en la puntuación fue de 6.30 puntos) para cada conjunto de conceptos computacionales (submuestras A), por lo que hubo una correlación positiva entre la dificultad de los ítems y la mejora en la puntuación observada (coeficiente de determinación: A1: $R2$ = .90; A2: $R2$ = .88; A3: $R2$ = .69). La Figura 46 también muestra que hay mayores incrementos de puntuación para cada concepto computacional en los cursos inferiores (A1) y que esto disminuye proporcionalmente en los cursos superiores (A2, A3).

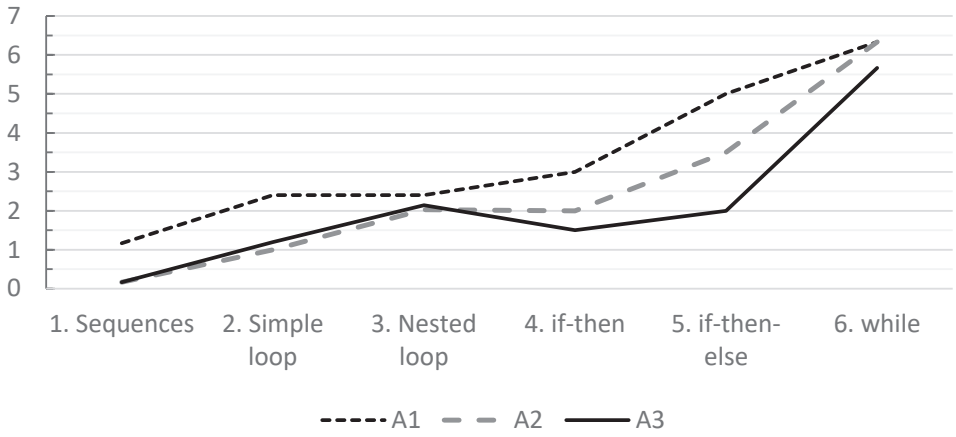
Tabla 37. Comparación entre los resultados de las puntuaciones del pre-test y del post-test entre las diferentes submuestras dependiendo de la modalidad de juego (prueba t de Student). Q1, percentil 25.

Curso	Modo de juego BAC	Submuestra	Perc.	*n*	Modo BCTt	Media	Desv. Std.	*t*	*p*	Tamaño efecto *d* Cohen
1	Individual	A''1	< 25	6	pre-test	13.50	0.84	−3.42	.007	2.690
					post-test	17.50	2.74			
	Colaborativo	B''1		8	pre-test	13.88	1.36	−2.66	.019	2.925
					post-test	17.13	3.18			
4	Individual	A''2	< 25	9	pre-test	17.89	1.62	−8.28	.000	3.045
					post-test	23.89	1.45			
	Colaborativo	B''2		7	pre-test	16.86	1.21	−7.70	.000	5.242
					post-test	23.43	1.90			
5	Individual	A''3	< 25	6	pre-test	17.83	1.17	−4.32	.002	4.345
					post-test	21.83	1.94			
	Colaborativo	B''3		6	pre-test	19.67	0.82	−2.64	.025	1.859
					post-test	22.33	2.34			

Tabla 38. Comparación entre los resultados de las puntuaciones del pre-test y del post-test entre las diferentes submuestras dependiendo de la modalidad de juego (prueba t de Student). Q2, percentil 50.

Curso	Modo de juego de BAC	Submuestra	Perc.	*n*	Modo BCTt	Media	Desv. Std.	*t*	*p*	Tamaño efecto *d* Cohen
1	Individual	A'1	< 50	13	pre-test	14.92	1.61	−3.16	.004	1.666
					post-test	18.54	3.80			
	Colaborativo	B'1		13	pre-test	14.69	1.49	−2.90	.008	2.053
					post-test	17.77	3.52			
4	Individual	A'2	< 50	17	pre-test	20.12	2.71	−4.45	.000	0.812
					post-test	23.53	1.62			
	Colaborativo	B'2		13	pre-test	18.77	2.39	−6.66	.000	2.304
					post-test	24.00	1.53			
5	Individual	A'3	< 50	15	pre-test	19.87	1.96	−3.82	.001	1.292
					post-test	22.47	1.77			
	Colaborativo	B'3		17	pre-test	21.65	1.62	−0.77	.447	0.197
					post-test	22.12	1.93			

Figura 46. Mejora de la puntuación en el BCTt (eje de ordenadas: puntuación post-test menos puntuación pre-test) por conjunto concepto computacional. Comparación entre submuestras A (modalidad de juego individual).



Se observó que se necesitó un tiempo considerablemente menor para realizar el post-test que para realizar el pretest; de hecho, los tiempos se redujeron a la mitad en todas las submuestras experimentales. Este resultado es coherente con la mejora de las habilidades de PC, en particular la automatización [191].

Finalmente, se analizaron los resultados obtenidos en la tercera administración del BCTt para comprobar aspectos relacionados con la retención de lo presuntamente aprendido (véase la Tabla 39). Se compararon las puntuaciones del pretest y del test de retención para comprobar si, tras un lapso de diez semanas de inactividad, el aprendizaje previamente adquirido se mantenía y seguía siendo significativo. Del mismo modo, también se compararon las puntuaciones de post-test y de la prueba de retención, para ver si se había producido alguna pérdida significativa de aprendizaje. Las comparaciones entre las submuestras A y B del pretest y la prueba de retención muestran ganancias de puntuación significativas (α = .05) en todas las submuestras a pesar del lapso de tiempo, excepto en la submuestra B3, como fue el caso entre las puntuaciones del pre-test y el post-test (prueba *t* de Student entre las puntuaciones del pre-test y la prueba de retención: A1, p = 0,042; A2, p = 0,011; A3, p = 0,043; B1, p = 0,040; B2, p = 0,000; B3, p = 0,889). Los tamaños del efecto (*d* de Cohen) entre el pre-test y la prueba de retención en todos los grados (excepto en la submuestra B3) estaban en la zona de efectos deseados de Hattie (2009) (d > 0,4); además, los tamaños del efecto en las submuestras correspondientes al modo colaborativo de los cursos inferiores (B1: d = 0.694; B2: d = 0.700) eran mayores que los de las submuestras individuales (A1: d = 0.548; A2: d = 0.555). Estos resultados reflejan la retención de lo aprendido en todos los grupos, especialmente en las submuestras colaborativas, a pesar de que había un cansancio acumulado ya que la prueba de retención se realizó al final del curso escolar.

Tabla 39. Comparación entre los resultados de las puntuaciones del pre-test y el test de retención y del post-test y el test de retención entre las diferentes submuestras dependiendo de la modalidad de juego.

Curso	Modo de juego de BAC	Submuestra	*n*	Modo de BCTt	Media	Desv. Std.	*t*	*p*	Tamaño efecto *d* Cohen
1	Individual	A1	23	pre-test	17.00	3.03	-2.098	.042	0.548
				test de retención	18.83	2.87			
				post-test	19.74	3.97	0.894	.376	-0.258
				test de retención	18.83	2.87			
	Colaborativo	B1	23	pre-test	16.78	3.03	-2.115	.040	0.694
				test de retención	18.57	2.68			
				post-test	18.96	3.40	0.433	.667	-0.168
				test de retención	18.57	2.68			
4	Individual	A2	28	pre-test	21.79	2.99	-2.648	.011	0.555
				test de retención	23.46	1.53			
				post-test	23.89	1.40	1.096	.278	-0.310
				test de retención	23.46	1.53			
	Colaborativo	B2	26	pre-test	21.35	3.15	-3.856	.000	0.700
				test de retención	23.85	1.01			
				post-test	23.92	1.35	0.232	.817	-0.070
				test de retención	23.85	1.01			
5	Individual	A3	25	pre-test	21.40	2.47	-2.080	.043	0.435
				test de retención	22.76	2.15			
				post-test	22.96	1.67	0.368	.715	-0.101
				test de retención	22.76	2.15			
	Colaborativo	B3	23	pre-test	22.43	1.95	-0.141	.889	0.044
				test de retención	22.52	2.23			
				post-test	22.52	1.88	0.000	1	0.000
				test de retención	22.52	2.23			

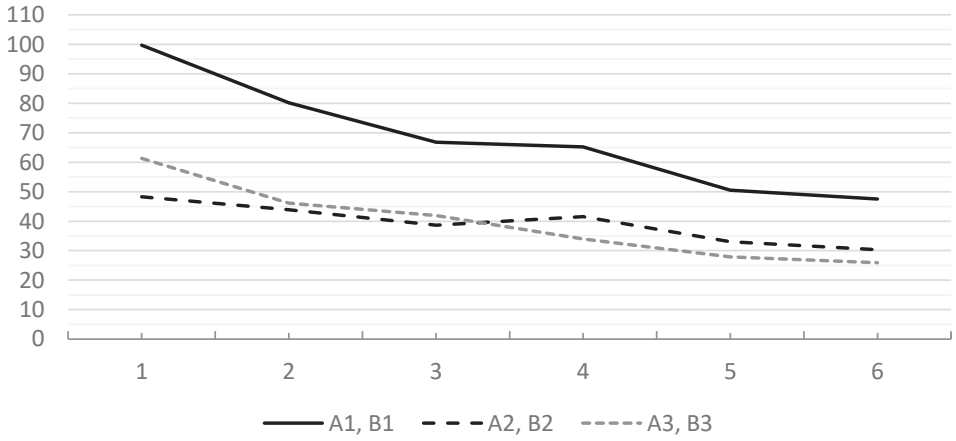
Además, las comparaciones entre el post-test y la prueba de retención en las submuestras A y B no muestran una pérdida de aprendizaje significativa (considerando α = .05) en ninguna de las submuestras (prueba *t* de Student entre las puntuaciones del post-test y la prueba de retención: A1, p = .376; A2, p = .278; A3, p = .715; B1, p = .667; B2, p = .817; B3, p = 1). Hay que destacar que en todas las submuestras B hubo menos pérdida de puntuación entre el post-test y el test de retención que en las submuestras A, así como menores tamaños del efecto, especialmente en los grados inferiores y en los percentiles bajos. Esto nos lleva a concluir que la modalidad de juego colaborativo fomenta un aprendizaje más eficaz y duradero, tal y como se esperaba [89], aunque los resultados iniciales del pre-test y el post-test puedan parecer acompañados de incrementos de puntuación más bajos en comparación con la modalidad individual.

Al analizar los resultados de las submuestras de percentil bajo, se observaron resultados más favorables en todos los casos, considerando α = .01, aumentos de puntuación significativos entre el pre-test y la prueba de retención a pesar del lapso de tiempo, que fue aún más significativo en las submuestras del modo colaborativo (por ejemplo, la diferencia entre el pre-test de la submuestra de percentil B3 Q2 y la prueba de retención fue de p = .0093, a pesar de ser el peor caso anterior); y no hubo pérdidas significativas (considerando α = .05) entre el post-test y la prueba de retención. Estos resultados nos llevan a concluir que la población de percentil bajo y los estudiantes más jóvenes se benefician aún más de la herramienta de aprendizaje, y especialmente del modo de juego colaborativo.

6.6.2. Entorno BAC

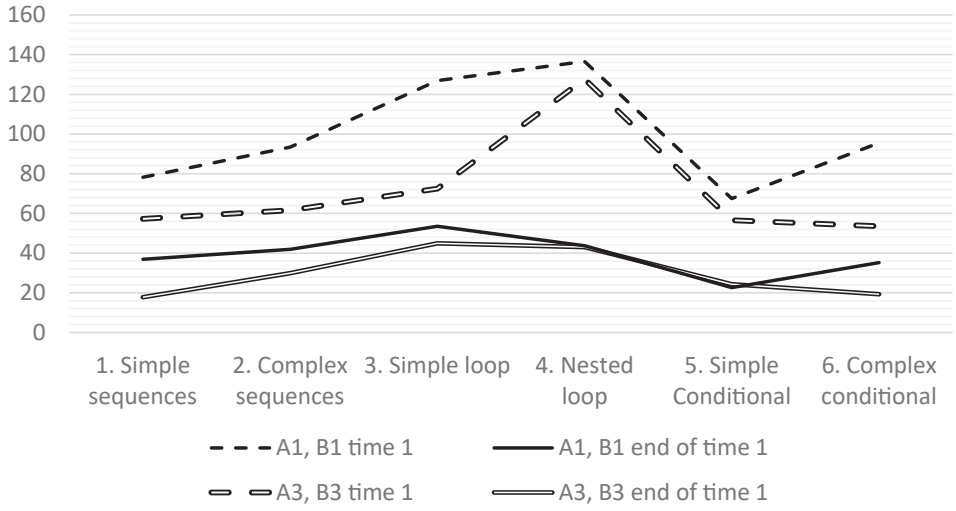
Se llevó a cabo un análisis preliminar de los datos recogidos en el entorno BAC mientras los estudiantes jugaban. En primer lugar, independientemente del modo de juego o del nivel jugado, se analizó para cada submuestra el tiempo medio necesario para resolver el problema (en el modo colaborativo, el tiempo del jugador 2: alumno que resuelve el reto) a lo largo de la partida. Como muestra la Figura 47, existe una correlación negativa en todas las submuestras entre el número de partidas jugadas y el tiempo medio de resolución del problema (coeficiente de determinación: A1, B1: R2=0.935; A2, B2: R2=0.897; A3, B3: R2=0.937).

Figura 47. Tiempo medio empleado en segundos (eje de ordenadas) para resolver el problema en cada partida jugada: siendo el 1 la primera partida (eje de abscisas), por submuestras.



Asimismo, se comparó el tiempo medio de resolución de cada nivel entre los alumnos de cada curso escolar, a lo largo del periodo de juego. En la Figura 48, las submuestras A1 y B1 se comparan con las submuestras A3 y B3 según el tiempo medio empleado, en segundos, para resolver el problema de cada nivel del juego en dos momentos: tiempo 1 - primer momento, el primer día del periodo de juego y, final del tiempo 1 - último momento, tras un periodo de juego de 5 semanas. Estos resultados nos llevan a concluir que el aprendizaje efectivo se produjo progresivamente a lo largo del periodo de juego. Hay que destacar especialmente que en las submuestras A1 y B1 (primer curso), en el tiempo 1, los alumnos tardaron más en resolver el problema, en todos los niveles, que los alumnos de las submuestras A3 y B3; pero, al final del tiempo 1, cuando terminó el periodo de juego, los sujetos de las submuestras A1 y B1 fueron capaces de resolver los problemas en casi el mismo tiempo que los alumnos de las submuestras A3 y B3. De hecho, en algunos niveles incluso necesitaron menos tiempo. Este resultado es coherente con los resultados del BCTt, donde se observaron mejoras mucho mayores en los estudiantes más jóvenes. También podría añadirse que las habilidades computacionales adquiridas por los alumnos de primer curso son similares o incluso mejores (en lo que respecta a ciertos conceptos) que las de los alumnos de mayor edad.

Figura 48. Tiempo medio empleado en segundos (eje de ordenadas) para resolver el problema por concepto computacional (eje de abscisas), en dos momentos (momento 1: primer día del periodo de juego; final del momento 1: tras 5 semanas de periodo de juego).



6.6.3. Datos cualitativos

Para evaluar las perspectivas computacionales del marco 3D, se administraron cuestionarios y se recogieron datos cualitativos mediante la observación directa mientras los alumnos jugaban. Las perspectivas computacionales implican que los estudiantes desarrollen una comprensión de sí mismos y de sus relaciones con los demás y con el mundo tecnológico. De esta forma, trabajar por parejas puede mejorar las prácticas y perspectivas computacionales del PC, como sugieren Hsu *et al.* [4] y también confirma este estudio.

Los datos de los cuestionarios muestran que las escuelas participantes están moderadamente involucradas con los ordenadores y la tecnología. Aunque hay pizarras digitales en todas las aulas, así como salas de informática, el aprendizaje de la programación no se considera una asignatura en las etapas de Educación Primaria. Además, los profesores de primaria declaran tener un nivel muy bajo de conocimientos informáticos (16.7%), bajo (16.7%) o medio (66.7%). Sin embargo, el 100% cree que aprender a programar para hacer frente a las demandas del futuro es de muy alta (33.3%) o alta importancia (66.7%). Independientemente de la experiencia previa con juegos (el 76.6% de los alumnos ha jugado antes), aplicaciones de programación (el 83.7% de los alumnos no conocía ninguna, y el 83% nunca ha programado) o dispositivos digitales (el 95.5% de los alumnos utiliza un dispositivo digital de forma habitual); el 70.2% de los alumnos considera importante aprender a programar

y el 52.2% piensa que los videojuegos podrían ayudarles a aprender esta habilidad.

Se observó una fuerte motivación e interés por jugar con BAC desde el principio, y se mantuvo durante toda la experiencia, independientemente del modo de juego. Esto es coherente con los resultados de los cuestionarios, en los que el 100% de los participantes de cada grupo de muestra disfrutaron de la experiencia y quisieron seguir aprendiendo con entornos basados en juegos. Los profesores también informaron de que la experiencia fue positiva y agradable para los alumnos y pensaron que éstos sí aprendían con el BAC (83.3%).

En cuanto a los resultados procedentes de la observación directa, el nivel 4 de BAC (bucle anidado) fue en el que, en el momento 1, los alumnos informaron de más problemas para encontrar soluciones, lo que coincide con los datos cuantitativos que indican que es el nivel para el que los alumnos necesitan más tiempo (véase la Figura 48). Algunos alumnos de cursos inferiores intentaban evitar el nivel 4 y otros lo percibían como un reto e intentaban superarlo; por el contrario, todos los alumnos de cursos superiores preferían jugar a los niveles difíciles. No obstante, al final del tiempo 1, los tiempos necesarios para el nivel 4 se redujeron significativamente a un tercio. Se comprobó que los elementos de juego (como los objetivos claros, la complejidad, los retos, la competición o el andamiaje), estaban equilibrados y mejoraban el compromiso en el juego, ya que los alumnos elegían un nivel superior si superaban el anterior y un nivel inferior si no podían resolver el problema. En los cursos superiores, se mostró más interés por el sistema de puntuación como elemento motivador del juego, ya que los alumnos intentaban superar la puntuación de sus compañeros o la suya propia durante todo el tiempo de juego.

La preferencia por el modo de juego colaborativo se observó en todas las muestras, ya que el 100% de los alumnos manifestó su preferencia por este modo de juego. La comprensión y la dinámica entre los compañeros fueron muy positivas, a pesar de su falta de familiaridad con las estrategias de GBL. Se confirmó la hipótesis de que los alumnos, independientemente de su rol, aprenden los unos de los otros y que no es un juego competitivo sino colaborativo, ya que los alumnos interactúan y se ayudan mutuamente. La mayoría de los alumnos prefirieron el rol de resolver problemas. En los cursos superiores, los alumnos que establecían los problemas se esforzaban más por hacer los retos más difíciles para sus compañeros.

Todos los alumnos, independientemente del modo de juego, reflexionan mientras juegan. En el modo individual, piensan en voz alta, y en el modo colaborativo también discuten los posibles retos y soluciones con su compañero. Al final, los estudiantes reflexionan sobre el juego terminado; por

ejemplo, el que resuelve el reto suele aconsejar al compañero sobre cómo podría hacerlo más complejo. Además, la mayoría de los alumnos afirman que reflexionan sobre futuras partidas, por ejemplo, pensando en cómo plantear un reto más difícil o resolver un puzle específico la próxima vez. Se descubrió que esta necesidad de revisar y pensar en el proceso de programación de sus compañeros fomenta la revisión de su propio rendimiento de aprendizaje, lo que hace que los estudiantes se dediquen a pensar, como concluyeron Søndergaard y Mulder en su estudio [192]. Como sugieren Lye y Koh [61], se confirma que la revisión por pares puede mejorar las prácticas y perspectivas computacionales de las dimensiones del pensamiento computacional.

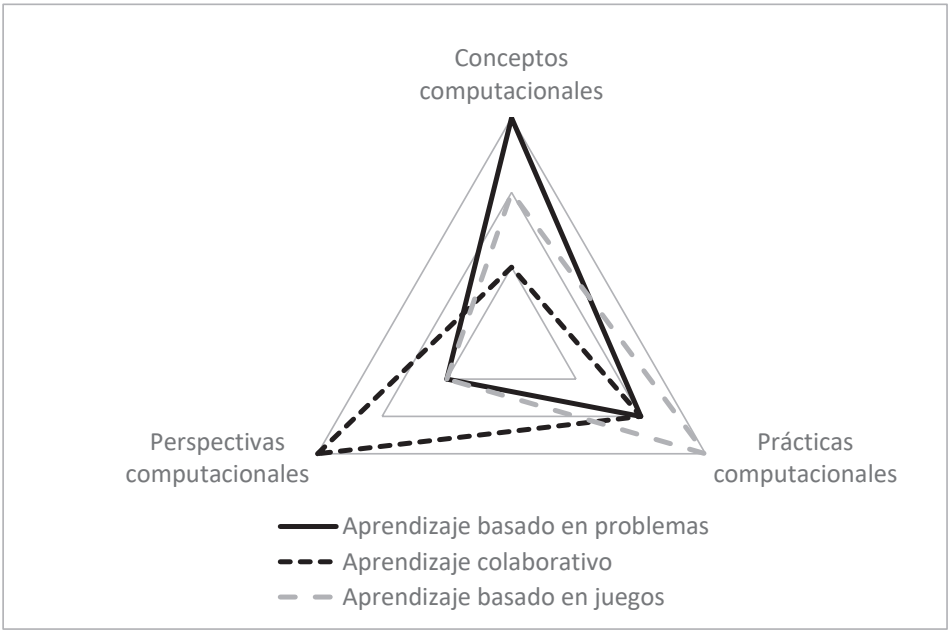
En todas las muestras experimentales, los alumnos con necesidades especiales (8.3% de los participantes), con bajos resultados académicos (15.1% de los participantes), o con un percentil bajo según los resultados del BCTt pre-post, mostraron un gran interés por el juego y motivación para superar los retos que les planteaba. Además, estos alumnos demostraron mejoras muy significativas en los resultados cuantitativos de la prueba BCTt pre-post. Estos resultados son coherentes con los obtenidos por Snodgrass *et al.*, que concluyen que los estudiantes con necesidades especiales pueden entrenar sus habilidades de PC utilizando entornos de programación visual [193]. Por ejemplo, un estudiante con discalculia y dislexia (submuestra B2) que no había obtenido buenos resultados en el pre-test del BCTt fue capaz de superar los retos del juego en un tiempo considerablemente menor que la media de la muestra B2. De hecho, mejoró significativamente su rendimiento en el post-test del BCTt y también mostró una notable mejora en su autoestima, sorprendiéndose de su capacidad para resolver los retos mejor que sus compañeros con mayor rendimiento escolar, en línea con la investigación de Laal y Ghodsi [89].

6.7. Conclusiones

El aprendizaje y la evaluación del PC en las escuelas se encuentra todavía en una fase experimental, especialmente en las edades tempranas. La mayoría de las investigaciones recientes se centran en las etapas escolares de educación secundaria y superiores, y en la dimensión del marco tridimensional de los conceptos computacionales. Sin embargo, no hay suficientes investigaciones sobre las edades tempranas y las otras dos dimensiones: las prácticas computacionales y las perspectivas computacionales [61]. En este estudio, se han combinado tres de las estrategias de aprendizaje más utilizadas en un entorno colaborativo basado en el juego, construido sobre una estrategia constructivista basada en problemas, que ha sido probado en la etapa de Educación Primaria. Los resultados muestran que este enfoque es adecuado para el aprendizaje del PC, especialmente en edades tempranas, bajo

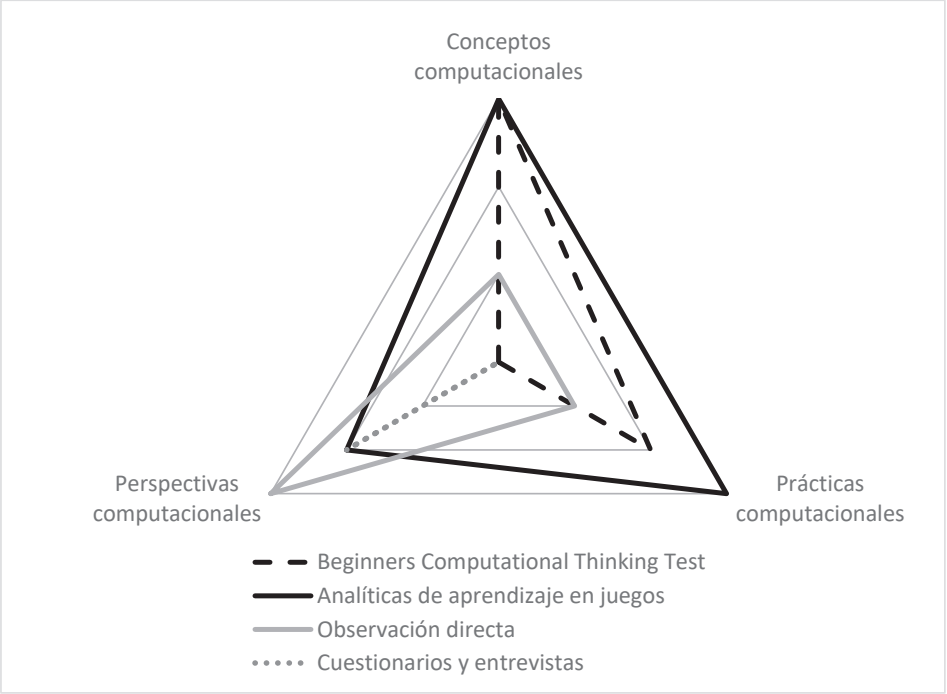
el marco de las 3D, cubriendo sus tres dimensiones clave como se planteó en la hipótesis *HE2*, y se ha confirmado mediante el caso de estudio (véase la Figura 49).

Figura 49. Impacto confirmado de la estrategia de aprendizaje en las dimensiones clave del marco 3D del PC.



La combinación de diferentes metodologías de evaluación, como un *sistema de evaluaciones* [148]: BCTt, GLA a través de GBL, y datos cualitativos (observación directa y cuestionarios), permite una evaluación tridimensional, como se planteó en la *HE4* y se ha confirmado mediante este caso de estudio (véase la Figura 50). En concreto, el BCTt evalúa los conceptos computacionales y, parcialmente, las prácticas computacionales. La técnica de GLA parece adecuada para evaluar los conceptos y las prácticas computacionales y, en parte, las perspectivas computacionales, aunque en mayor grado si el juego es colaborativo. Los cuestionarios y la observación directa, especialmente en la modalidad de juego colaborativo, cubren la evaluación de las perspectivas computacionales. Además, la evaluación del PC a través de GLA ha demostrado estar en consonancia con la teoría del flujo, ya que el aprendizaje a través del juego puede continuar con fluidez mientras que las evaluaciones se manejan discretamente manteniendo el flujo en todo momento.

Figura 50. Impacto confirmado de la estrategia de evaluación en las dimensiones clave del marco 3D del PC.



La mejora de la puntuación entre los test pre y post del BCTt fue significativa en las submuestras A1, B1, A2, B2 y A3, mientras que el tiempo dedicado a la realización del test se redujo a la mitad, lo que sugiere que los estudiantes mejoraron sus habilidades de PC después del periodo de juego, en contraste con la muestra de control que no mostró ninguna mejora significativa ni reducción de tiempo. Estos resultados son coherentes con el análisis de los datos recogidos por BAC, que muestran una mejora muy significativa a lo largo del tiempo. Los resultados similares obtenidos de BCTt y BAC de cada estudiante y muestra, revelan GLA como una herramienta de evaluación adecuada que, además, puede ofrecer datos en tiempo real que pueden ser útiles para una evaluación personal detallada, un fuerte análisis de datos de bajo nivel, y la identificación de conceptos computacionales inalcanzables para cada edad específica. Se obtuvieron resultados positivos en la prueba de retención, lo que sugiere que esta metodología basada en el juego fomenta el aprendizaje duradero. No obstante, el BCTt y el entorno BAC parecen estar mejor adaptadas a los estudiantes más jóvenes, ya que se produjeron mayores mejoras en las habilidades de PC en las muestras de los cursos inferiores (primer ciclo de Educación Primaria) y no se observó ninguna mejora significativa

en la submuestra B3 (lo cual era de esperar, ya que en los cursos superiores algunos sujetos alcanzaron la puntuación máxima en el pre-test dejando poco margen de mejora). Dado que la investigación está dirigida a edades tempranas, este resultado desfavorable era de esperar, y suponemos que el BCTt y la BAC podrían incluso ser adecuadas para cursos inferiores de Educación Infantil.

Además, se encontró un resultado inesperado y relevante, ya que se observaron puntuaciones mayores al final del periodo de juego, tanto en el BCTt como en BAC en los estudiantes más jóvenes en comparación con los mayores. Aunque se observó una mejora significativa en la mayoría de los conceptos más difíciles en todas las submuestras; también fue mayor la mejora en la puntuación global, en cada concepto computacional, en los cursos escolares más bajos (A1) y hubo una disminución gradual de esta mejora en los cursos superiores (A2, A3). Además, las habilidades del PC de los alumnos de primer curso eran similares o incluso mejores en lo que respecta a ciertos conceptos, como los bucles anidados) que las de los alumnos de mayor edad después del período de juego. Esto nos lleva a sugerir que es importante desarrollar el PC desde edades muy tempranas y que es recomendable incorporar ciertos conceptos, como los bucles anidados o los condicionales, en el currículo ya en primer curso o incluso antes, en lugar de esperar hasta el último ciclo de Educación Primaria (o incluso secundaria), como ocurre actualmente en la mayoría de los centros educativos en España. Sin embargo, es necesario seguir investigando debido al posible sesgo en la selección de los colegios para cada ciclo educativo.

La investigación ha demostrado que los alumnos con necesidades especiales o de bajo percentil de cada muestra se benefician aún más de la herramienta de aprendizaje, y especialmente de la modalidad de juego colaborativo, ya que en estas submuestras se obtuvieron mejoras muy significativas (considerando $\alpha = .01$). Además, estos alumnos mostraron un gran interés por el juego y motivación para superar los retos. Esto nos lleva a concluir que la estrategia basada en el juego y los entornos de programación visual son adecuados y atractivos para estos estudiantes, lo que coincide con la investigación de Snodgrass *et al.* [193].

Se confirmó a través de la observación directa que todos los estudiantes reflexionan mientras juegan en ambos modos de juego, especialmente en el colaborativo. La reflexión y el juego colaborativo entre pares fomentan el rendimiento del aprendizaje y hacen que los estudiantes reflexionen; por lo tanto, la revisión entre pares puede mejorar las dimensiones de las prácticas y perspectivas computacionales del PC, como sugieren Lye y Koh [61]. Los resultados de retención del aprendizaje fueron mejores en la modalidad

colaborativa que en la individual, sobre todo en los cursos inferiores, lo que nos lleva a la conclusión de que la modalidad de juego colaborativo fomenta un aprendizaje más eficaz y duradero (aunque a partir de los resultados iniciales del pre-test y el post-test parece que se produce un incremento de las puntuaciones menor en comparación con la modalidad individual). Estos resultados están en consonancia con la investigación realizada por Laal y Ghodsi [87], en la que concluyen que el aprendizaje colaborativo se traduce no sólo en un mayor rendimiento y una mayor productividad, en relaciones más afectivas, solidarias y comprometidas, sino también en una mayor salud psicológica, competencia social y autoestima. Los resultados también son coherentes con Johnson y Johnson [88], y Laal y Laal [89] que sugieren que los equipos cooperativos retienen la información durante más tiempo que los alumnos que trabajan como individuos.

Hainey *et al.*, en su revisión bibliográfica sistemática de la investigación sobre el aprendizaje basado en el juego, concluyen que se necesitan más estudios que comparen las estrategias individuales y las colaborativas para identificar sus beneficios pedagógicos en la escuela primaria [175]. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que la estrategia colaborativa beneficia a los estudiantes más jóvenes, fomenta la reflexión a través de la comunicación entre pares, mejora las perspectivas computacionales (como se sugirió en investigaciones anteriores) y se consigue un aprendizaje más eficaz y duradero. Sin embargo, es posible que la estrategia colaborativa no sea tan eficaz para el último ciclo de Educación Primaria, ya que estos alumnos parecen ser capaces de una reflexión individual más eficaz. Se necesitan más investigaciones para comprobar esta hipótesis.

Esta investigación muestra resultados de aprendizaje significativos cuando se utilizan entornos informáticos educativos basados en juegos, especialmente con alumnos de bajo percentil, alumnos con necesidades especiales y en etapas educativas tempranas. Además, la combinación de estrategias de aprendizaje basadas en el juego y en la colaboración cubren las tres dimensiones del PC. Así, cuando se diseñan entornos basados en GBL para el desarrollo del PC y dirigidos a las primeras etapas educativas de primaria, se recomienda incluir estrategias de colaboración explícitas, teniendo siempre en cuenta la teoría del flujo y los elementos de diseño del juego para los alumnos más jóvenes. Por lo tanto, la hipótesis *HE3,* en la que se planteaba que los entornos basados en GBL potencian el aprendizaje del PC en Educación Primaria, en contextos escolares, sobre en los niños más pequeños y si se aplica una componente colaborativa, queda también confirmada. Sin embargo, cuando el entorno se dirige a las últimas etapas de primaria se recomienda complementarlas con actividades centradas en la reflexión individual.

6.8. Limitaciones y líneas de actuación

Se han detectado algunas limitaciones en este estudio. Se ha llegado a la conclusión de que los alumnos de 1º y 2º de primaria (primer ciclo), se benefician más de la estrategia de aprendizaje GBL que los alumnos de mayor edad, pero puede ser necesaria una investigación adicional sobre los alumnos de 3º de primaria para determinar con precisión a qué edad es más probable que los alumnos aprovechen este tipo de estrategias. Las investigaciones adicionales deben centrarse también en Educación Infantil, ya que no se ha establecido el límite de edad más bajo para utilizar entornos GBL. Además, sería recomendable replicar el estudio incluyendo grupos de control en cada grado. Dado que este estudio revela un alto beneficio del uso de GBL para los alumnos con necesidades especiales, también sería conveniente realizar más investigaciones sobre este aspecto. El uso de un *sistema de evaluación* pretende cubrir las tres dimensiones computacionales, pero es necesario un análisis más profundo para identificar exactamente qué prácticas y perspectivas computacionales se evalúan con cada enfoque. Además, sería esclarecedor replicar el estudio en otros países y poblaciones.

Aunque se han confirmado las hipótesis *HE2, HE3 y HE4* y se han alcanzado los objetivos específicos de este capítulo, es necesaria más investigación en cuanto a las técnicas de GLA, incidiendo en la progresión en el juego y analizando los datos del juego con mayor profundidad y no sólo en contextos escolares, para así poder analizar disposiciones y predisposiciones para el desarrollo del PC, como se plantea en la *HE5*. Se avanzará en este sentido en el capítulo siguiente.

En cuanto a los objetivos generales de la tesis, se ha completado el objetivo OP3 y el OP4 parcialmente. En este punto, el grado de cumplimiento de los objetivos generales es el que se muestra en la Tabla 40.

Tabla 40. Seguimiento de los objetivos, capítulo 6.

Objetivos				Grado de cumplimiento		
				Bajo	Medio	Alto
OP	Avanzar en el conocimiento sobre el PC, en su componente operacional, en cuanto a métodos de enseñanza y de evaluación eficaces en etapas tempranas.					
	OP1	Marco teórico y estado del arte				
		OP1a	Definiciones teóricas y operacionales del PC			
		OP1b	Marcos e iniciativas para el desarrollo del PC a nivel internacional y nacional en etapas tempranas			
		OP1c	Marco teórico y estrategias para el desarrollo del PC y herramientas y entornos existentes			
		OP1d	Marco teórico y estrategias para la evaluación del PC e instrumentos existentes			
	OP2	Establecer una propuesta operativa del PC en base al OP1 para constituir la dirección de la investigación empírica mediante hipótesis y objetivos base.				
		Diseñar y validar empíricamente, herramientas para el aprendizaje y la evaluación del PC				
	OP3	OP3a	Diseñar y validar un instrumento de evaluación del PC en edades tempranas			
		OP3b	Desarrollar y validar una herramienta de aprendizaje y evaluación del PC en edades tempranas			

Objetivos				Grado de cumplimiento		
				Bajo	Medio	Alto
	OP4		Realizar experiencias empíricas que permitan analizar datos relativos tanto a habilidades de PC como a disposiciones y predisposiciones para el PC			
		OP4a	Extraer y analizar datos para mejorar el diseño del currículo escolar relativo a PC según edad y género			
		OP4b	Extraer y analizar datos para mejorar el diseño de herramientas de aprendizaje relativo a PC según edad y género			
		OP4c	Extraer y analizar datos para mejorar el diseño de herramientas de evaluación relativo a PC según edad y género			
OC	Diseño y validación de instrumentos de evaluación del PC que cubran un amplio rango de edades y poblaciones					

Los resultados de las experiencias realizadas en colegios de Educación Primaria presentadas en este capítulo se han recogido en la publicación:

- M. Zapata-Caceres, E. Martin, and M. Roman-Gonzalez, "Collaborative Game-Based Environment and Assessment Tool for Learning Computational Thinking in Primary School: A Case Study," in *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 14, no. 5, pp. 576-589, 1 Oct. 2021, doi: 10.1109/TLT.2021.3111108.