



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

**COLLPAD 2,
UN *SCAFFOLD* COLABORATIVO.
SU IMPACTO EN EL APRENDIZAJE DE
GEOMETRÍA**

JOSÉ TOMÁS MARQUINEZ VACAREZZA

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
MIGUEL NUSSBAUM

Santiago de Chile, (Agosto, 2016)

© MMXVI, José Tomás Marquinez Vacarezza



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

COLLPAD 2: UN *SCAFFOLD* COLABORATIVO. SU IMPACTO EN EL APRENDIZAJE DE GEOMETRÍA

JOSÉ TOMÁS MARQUINEZ VACAREZZA

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

MIGUEL NUSSBAUM VOEHL

MARCOS ERNESTO SEPÚLVEDA FERNÁNDEZ

FRANCISCO CLARO HUNEEUS

CÉSAR SÁEZ NAVARRETE

Para completar las exigencias del grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, (Agosto, 2016)

A mi familia, polola y amigos por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Bernardita Vacarezza y Ricardo Marquinez, quienes han estado constantemente preocupados por el avance en esta investigación, y además han sido un pilar y apoyo fundamental constantemente a lo largo de mi vida.

A mi polola Valentina Gutierrez, quien siempre ha estado ahí para apoyarme, ayudarme, aconsejarme y alegrarme en cualquier momento.

A mis amigos, por los buenos momentos que pasamos juntos en los estudios. En particular, a con quienes compartí oficina y me motivaron siempre a seguir adelante por difícil que sea la situación.

A Samuel Gleisner, Matías Marroquín, Martín Cáceres y a todos los otros miembros del proyecto, que sin ellos la experimentación y obtención de resultados no habrían sido posibles. Les deseo éxito en sus investigaciones, y no duden en contar con todo mi apoyo.

Al profesor Miguel Nussbaum, por su constante apoyo, alegría, humor y energía en la investigación. Gracias por creer en mí al incorporarme en la investigación y al estar ahí constantemente para lograr generar conocimiento. Gracias por mostrarme realmente que se puede contribuir a lograr un cambio en la educación en Chile.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
0 INTRODUCCIÓN.....	1
1 Orquestrar los recursos de una clase: ¿Es más importante que introducir tecnología? ...4	
1.1 Abstract	4
1.2 Introducción	5
1.3 Metodología	7
1.3.1 Muestra y diseño de intervención.....	7
1.3.2 Contenidos curriculares	8
1.3.3 Actividad Colaborativa apoyada por soporte digital	9
1.3.4 Orquestación.....	11
1.3.5 Instrumentos	12
1.4 Resultados	13
1.5 Discusión y Conclusiones	14
2 Modelo pedagógico Collpad y Collpad 2	16
2.1 Oportunidades sobre AAG.....	16
2.2 Modelo CollPad en el 2009.....	18
2.3 Oportunidades a partir de la experiencia CollPad.....	20
2.4 Componentes existentes	23
2.4.1 Condiciones para el aprendizaje colaborativo	23
2.5 CollPad 2.....	29

2.5.1	Cambios sobre CollPad.....	29
2.5.2	Modelo pedagógico de CollPad 2.....	30
2.5.3	Verificación de las condiciones de colaboración.....	33
3	La creación del software de CollPad 2	35
3.1	Adaptación del modelo al dominio de AAG.....	35
3.1.1	Construcción de roles	36
3.2	Diseño del software.....	37
3.2.1	Descripción del software	37
3.3	Restricciones sobre la utilización del software	44
3.4	Ejercicios preconcebidos.....	44
4	Ingeniería de software.....	46
4.1	Definiciones	46
4.2	Información general de la arquitectura	47
4.3	Vistas de la arquitectura	48
4.3.1	Vista de componentes de hardware y red	48
4.3.2	Vista lógica	50
4.4	Restricciones de la arquitectura para nuevos <i>plugins</i>	55
5	Metodología y resultados.....	56
5.1	Diseño del experimento e instrumentos	56
5.2	Participantes	57
5.3	Resultados y análisis	57
6	Conclusión y trabajos futuros	61
6.1	Conclusión.....	61
6.2	Limitaciones presentes	63
6.3	Trabajos futuros	64
	BIBLIOGRAFÍA	66
	A N E X O S	74
7	Anexo A: Documento de orquestación.....	75

8	Anexo B: Ejemplos de rotación y líneas de simetría.....	76
9	Anexo C: Resultado de verificaciones supuestos para la prueba-T.....	79
10	Anexo D: Ejemplo de estructura de código JSON utilizado por el software desarrollado.....	80
11	Anexo E: Paper en inglés.....	81

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1: Componentes de la intervención.....	8
Tabla 1-2: Prueba-t para Post test-Pre test por curso	13
Tabla 2-1: Cómo las condiciones de colaboración son satisfechas por CollPad 2.	34
Tabla 5-1: Cantidad y distribución de alumnos participantes	57
Tabla 5-2: Estadísticos descriptivos de los resultados	58
Tabla 5-3: Prueba-t para Posttest – Pretest por grupo.....	59
Tabla 9-1: Resultados del test Shapiro-Wilk para cada grupo y test	79
Tabla 9-2: Resultados del test de homogeneidad de varianzas para cada grupo para la prueba-T	79

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 0-1: Estructura de las componentes principales utilizadas en la investigación	1
Figura 1-1: Desarrollo de un ejercicio colaborativo de reflexión	11
Figura 2-1: Diagrama de CollPad original	20
Figura 2-2: Modelo pedagógico CollPad 2	32
Figuras 3-1: Vista de los alumnos al iniciar la actividad	39
Figura 3-2: Vista de los alumnos para ver las respuestas individuales de su grupo	40
Figura 3-3: Vista del alumno amarillo al entrar a la fase colaborativa, al iniciar.	41
Figura 3-4: Vista del alumno amarillo con una respuesta posible en la fase colaborativa. .	42
Figura 3-5: Vista del profesor al seleccionar un grupo particular.....	43
Figura 4-1: Vista general de la red del sistema	49
Figura 4-2: Ambiente con grupos en el aula	51
Figura 4-3: Diagrama de la arquitectura de software usada.....	53
Figura 7-1: Documento de orquestación en español	75
Figura 8-1: Ejemplo de rotación	76
Figura 8-2: Ejemplo de líneas de simetría siendo enunciado.....	77
Figura 8-3: Ejemplo de líneas de simetría contestado.	78

RESUMEN

A lo largo de los últimos años, se ha intentado mostrar qué tan grande es el impacto del ingreso de tecnologías en las aulas de clases. Se han presenciado experiencias con dispositivos digitales que presentaron un efecto positivo en el aprendizaje. Para que la tecnología tenga un impacto positivo en el aprendizaje, su uso debe estar alineado con el objetivo del profesor durante la clase. De esta manera, integrarla consistentemente en el trabajo en clases permite entregarle a los alumnos distintas experiencias. Y más aún, deben aportar valor adicional por sobre los dispositivos regulares presentes en la sala. Bajo este escenario, se desarrolla una tecnología que presenta colaboración (habilidad a explotar en el siglo XXI, según el Programa de Evaluación Estudiantil Internacional) como valor agregado. ¿Tendrá la tecnología un impacto positivo en el aprendizaje, ante una clase orquestada?

En primera instancia, se presenta una experiencia en que la tecnología no resultó ser un recurso con valor adicional sobre una clase orquestada. Para asegurar colaboración en una experiencia similar, se consideró un modelo pedagógico de ejercicios colaborativos de la literatura denominado CollPad. Tras asegurar que se cumplen condiciones expuestas en la literatura para lograr la colaboración, se diseñó un nuevo *scaffold*, o estructuración, de ejercicios colaborativos: CollPad 2. Este modelo pedagógico fue implementado en una aplicación web para su uso en tablets en la sala de clases, para luego ser usado para analizar el impacto en el aprendizaje logrado por el diseño.

Luego de analizar los datos, las conclusiones obtenidas fueron similares a la experiencia inicial. A pesar de haber cumplido todas las condiciones para que la colaboración se dé, la experiencia aporta nueva evidencia de que la tecnología es un recurso más que no es suficientemente significativo para hacer la diferencia en el aprendizaje. Por lo tanto, hay algo más que debe tener la tecnología para que aporte valor al agregarlo a la sala de clases. Así, queda como trabajo futuro medir más habilidades del siglo XXI, como puede ser el pensamiento crítico o las habilidades ICT.

Esta tesis contó con el apoyo de CONICYT/FONDECYT 1150045

Palabras Claves: Collpad 2, *Scaffold*, Informática educativa, Impacto de tecnología, Geometría, Clase orquestada.

ABSTRACT

In the last years, several investigators have tried to size the impact of inserting technology in classrooms. Some has shown positive effect on learning while using digital devices in them. Since a positive or negative effect will be in direct relation to how aligned is the use given to the technology with the teacher's objective within the class, the digital component must be consistently integrated so as to provide the students with different experiences. Even more, they must have additional value beyond those of the conventional devices in the classroom. Following this line, I tried to develop a technology that deal with collaboration (ability of the 21st century, according to the Programme for International Student Assessment) as added value. Will technology have a positive effect on learning of schoolers, when in an orchestrated class?

Firstly, I show an experience in which the technology was a resource with no additional value when being present in orchestrated classes. With aims of ensuring collaboration in a similar experience, I considered a pedagogical model of collaborative exercises developed in the literature, called CollPad. Once the conditions of collaboration shown in literature were achieved, I designed a new scaffold for collaborative exercises, which is CollPad 2. This pedagogical model was implemented in a web application for its use in tables within classrooms. With it, we could size the impact in the learning achieved by this design.

After studying the data obtained, the conclusions were similar to those obtained in the initial experiment. Despite having all conditions for successful collaboration achieved in the experience, the results of this experiment provided new evidence that technology is just one additional resource in orchestration that is not the key to make significantly enough learning. Therefore, future work could size more 21st century abilities, like critical thinking or the ICT skills.

This thesis had the support of CONICYT/FONDECYT Grant 1150045

Keywords: Collpad 2, Scaffold, Educational technology, Impact of technology, Geometry, Orchestrated class.

0 INTRODUCCIÓN

En esta sección se describirá en breves palabras la estructura de esta tesis, para guiar al lector en su comprensión. Es por eso que se detallará sucintamente cada parte de esta investigación, ya que así el lector podrá comprender de mejor forma cómo está organizada esta tesis y porqué. La Figura 0-1 presenta como estructura las distintas componentes utilizadas en el desarrollo de esta tesis, destacando en verde aquellas que cuentan con mi participación.

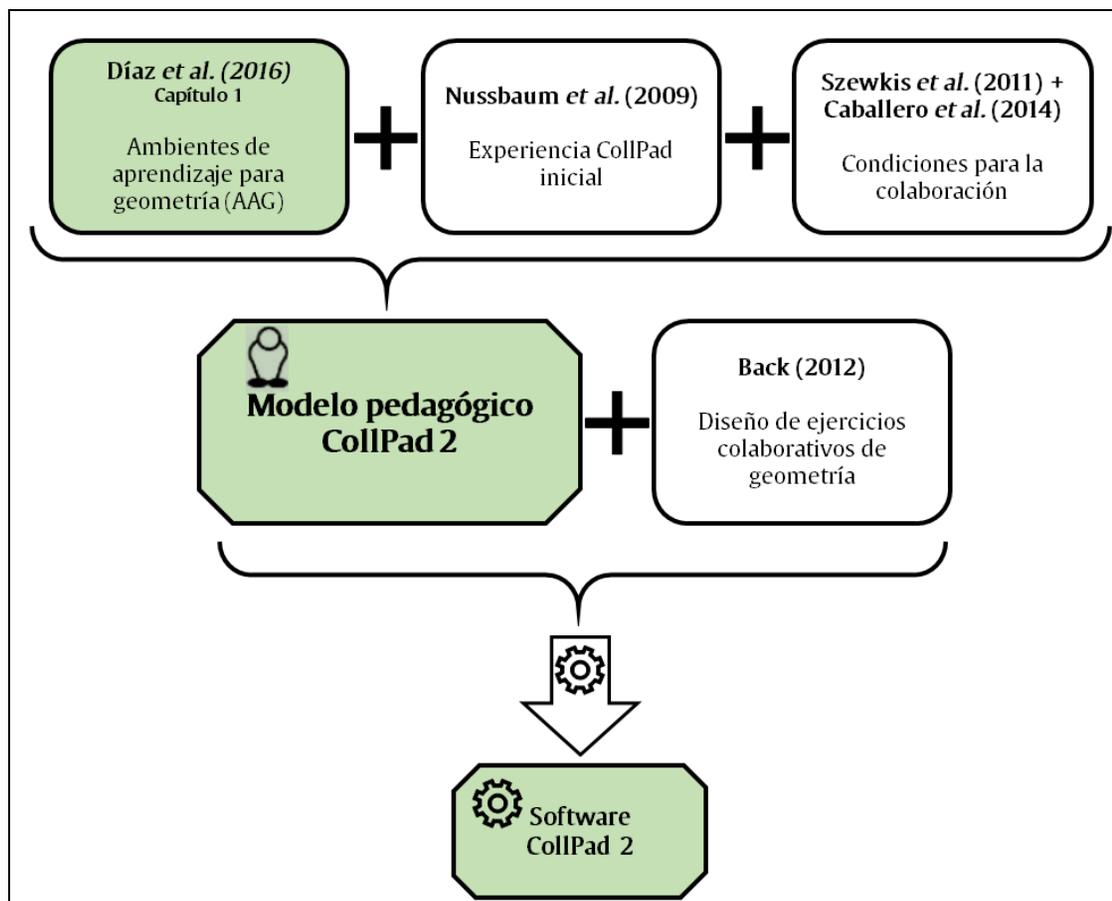


Figura 0-1: Estructura de las componentes principales utilizadas en la investigación

En el primer capítulo se muestra un artículo académico enviado a la revista *British Journal of Educational Technology* (Díaz *et al.*, 2016), el cual inicia las preguntas de investigación que enmarcan la presente tesis. En este se estudia si la integración de la tecnología, en una clase que está orquestada, entrega o no valor adicional a esta. Es necesario comenzar con este artículo, ya que permite contextualizar la investigación realizada para esta tesis, la cual pretende continuar con el experimento presentado en el artículo.

Díaz *et al.* (2016) concluyen que, en una clase que está orquestada, la tecnología en realidad no aporta un valor agregado para el aprendizaje entre todos los recursos existentes. Así, queda la oportunidad de mejorar la experiencia realizada al cubrir algunas de las limitantes descubiertas a lo largo de la experiencia analizada en el capítulo 1. Entre ellas, se destaca que el elemento de valor en la tecnología era la colaboración, sin embargo, tras el estudio no fue posible asegurar su existencia.

Para asegurarla, se plantea adaptar la experiencia con dos líneas de investigación que la complementan:

- Para la primera línea, Nussbaum *et al.* (2009) presenta un *scaffold* o modelo de colaboración que se mostró exitoso en cuanto a la experiencia percibida por los profesores en Reino Unido y en Chile.
- En la segunda línea, Szewkis *et al.* (2011) y Caballero *et al.* (2014) enlistan y verifican el cumplimiento de una serie de condiciones que deben satisfacerse para lograr una exitosa experiencia de colaboración.

Así, surge la idea de verificar la existencia de colaboración en el experimento de Díaz *et al.* (2016), para luego diseñar un nuevo modelo pedagógico de colaboración inspirado en Nussbaum *et al.* (2009), que logre el cumplimiento de las condiciones de colaboración recopilado por Szewkis *et al.* (2011) y por Caballero *et al.* (2014). La pregunta que surge de esto es: ¿Es posible generar un *scaffold* de ejercicios que asegure colaboración en su desarrollo? De ser así, ¿cuál es el impacto de la utilización de una tecnología que represente este modelo sobre el aprendizaje ante una clase orquestada, comparándola con una clase orquestada en ausencia de tecnología?

El segundo capítulo presenta el detalle de la generación de un nuevo modelo de colaboración o *scaffold* que une las cuatro investigaciones recién indicadas (Díaz *et al.*, 2016; Nussbaum *et al.*, 2009; Szewkis *et al.*, 2011; y Caballero *et al.*, 2014), que responde a la primera pregunta de investigación planteada.

Para responder a la segunda pregunta, se desarrolla un software que estructura el modelo pedagógico diseñado en el segundo capítulo. Así, para asegurar el cumplimiento las condiciones de colaboración, surge la idea de asignar roles a los alumnos de cada grupo de trabajo. Back (2012) presenta una cobertura explícita del currículum de matemáticas correspondiente al contenido utilizado en el capítulo 1, al diseñar ejercicios que permiten lograr colaboración satisfaciendo las condiciones enlistadas por Szewkis *et al.* (2011) y Caballero *et al.* (2014). Así, se utiliza el modelo de ejercicios de Back (2012), adaptado para asegurar la creación de roles en el modelo pedagógico, para fomentar el aprendizaje colaborativo en los ejercicios.

En el tercer y cuarto capítulo se explica cómo se desarrolló el software recién indicado. En estos, se detalla cómo cada etapa del *scaffold* se adapta en cada etapa de la ejecución.

Finalmente, en los capítulos cinco y seis se presenta el experimento llevado a cabo para permitir contestar la segunda pregunta que trae esta tesis consigo, y las conclusiones que trajo.

1 ORQUESTAR LOS RECURSOS DE UNA CLASE: ¿ES MÁS IMPORTANTE QUE INTRODUCIR TECNOLOGÍA?

Autores: Díaz, A.; Marquinez, J.T; Nussbaum, M. y Gleisner, S.

1.1 Abstract

Evidencias dan cuenta de los potenciales efectos negativos que tiene la falta de apoyo pedagógico a los docentes en políticas nacionales de entrega de equipamiento tecnológico a las escuelas. Como respuesta a esta necesidad surge la orquestación, la cual consiste en el soporte para que un profesor maneje, en tiempo real, actividades multidimensionales en un contexto con múltiples restricciones. Diferentes trabajos han mostrado que el uso de tecnología con orquestación tiene un mayor impacto en el aprendizaje que el uso de tecnología sin orquestación. El objetivo de este trabajo es investigar si es relevante orquestar una clase, independiente de si hay o no una componente tecnológica de por medio. Para este fin se trabajó con 55 estudiantes de cuarto básico durante 12 sesiones en la enseñanza de geometría, separados en dos grupos: uno que utilice tecnología y otro con métodos de enseñanza tradicionales, y ambos grupos bajo el mismo esquema de orquestación. La tecnología utilizada era colaborativa de grupos pequeños (3 integrantes) utilizando *Tablet*. Observamos experimentalmente que ambos grupos aprendieron en forma significativa con un tamaño del efecto grande, sin diferencias significativas entre ambos. Esto nos muestra la conveniencia de orquestar una clase, independiente de si hay o no una componente tecnológica de por medio.

La orquestación de esta experiencia proveyó a los alumnos con una serie de diversas oportunidades para aprender geometría, incluyendo el uso de tecnología en el grupo tratamiento como un recurso más. Considerando que no hubo una diferencia significativa entre ambos grupos, el conjunto de actividades digitales incluidas en el grupo tratamiento no aportaron un valor agregado a la suma de todos los otros recursos. Aun cuando la componente digital del trabajo en clases está integrada de

forma consistente para proveer a los alumnos con experiencias distintas, estas deben tener un valor adicional por sobre la que los dispositivos convencionales pueden proveer, para hacer valer los costos de introducirla. En nuestra experiencia, el valor agregado de la tecnología fue el elemento colaborativo. El objetivo era aprender geometría, y la colaboración con la tecnología era solamente un camino para lograrlo; por lo tanto, la mejora en las habilidades colaborativas entre los estudiantes no fue medida y, así, no se reconoció valor agregado en la tecnología. La conclusión principal de este estudio es que cuando se introduce tecnología en la sala de clases, primero debe considerarse si proporciona un valor para lograr objetivos definidos cuando se le compara con otros recursos disponibles.

1.2 Introducción

El impacto de la tecnología en el desarrollo de las personas es de carácter magnificador, teniendo la capacidad de potenciar tanto los aciertos como los desaciertos de diferentes contextos y sistemas (Toyama, 2014). El ámbito de la educación no es la excepción a este impacto de la tecnología, pues las intervenciones tecnológicas, al amplificar las capacidades de los sistemas educativos tienen el potencial de fortalecer las buenas prácticas, pero también de empeorar aquellas prácticas deficientes (Toyama, 2011). De hecho, en un reporte reciente de la OECD se indica que “el uso de computadores en el colegio no genera mejoras apreciables en las habilidades de lectura, de matemáticas o de ciencias en los estudiantes” (OECD, 2015, traducción propia).

Para lograr una adecuada integración tecnológica y así lograr un efectivo aporte de la innovación en el proceso de aprendizaje en aula es necesario superar una serie de condiciones, asociadas a tres ejes fundamentales en el proceso de aprendizaje: el profesor (quien innova), la escuela (contexto) y el proyecto (innovación tecnológica) (Zhao, Pugh, Sheldon, & Byers, 2002). Resulta crítico no solo el manejo de la innovación tecnológica dentro de la realidad escolar, sino también cómo el docente logra compatibilizarla con sus propias prácticas y recursos pedagógicos disponibles.

Esta visión se complementa con aquella que concibe como esencial el apoyo al profesor (ya sea de sus pares o bien de agentes externos) antes y durante la inclusión tecnológica dentro de su práctica pedagógica (Chen & Looi, 2009). En efecto, evidencias dan cuenta de los potenciales efectos negativos que tiene la falta de apoyo pedagógico a los docentes en políticas nacionales de entrega de equipamiento tecnológico a las escuelas (Claro, Nussbaum, López & Díaz, 2013).

En consistencia con esta visión de integración de tecnología en aula, Aldunate & Nussbaum (2013) plantean un modelo de apropiación de tecnología como un proceso con transiciones dinámicas, lo cual se traduce en diferentes niveles de apoyo para el profesor. El modelo concluye en que los profesores que incorporan habitualmente tecnología educativa en la enseñanza, tienen más probabilidades de adoptar nuevas tecnologías sin importar su complejidad. Sin embargo, aquellos que no han utilizado la tecnología tempranamente y realizan muy pocas clases con integración de ésta, son menos propensos a adoptar nuevas tecnologías y son propensos a abandonar la adopción en puntos críticos de su implementación.

En este sentido, no solo la promoción inicial, sino que también el apoyo en aula, son esenciales para que los docentes acepten la tecnología para el trabajo en la clase. Como respuesta a esta necesidad surge la orquestación, la cual “hace referencia a cómo el profesor gestiona, en tiempo real, actividades multidimensionales en un contexto con múltiples restricciones” (Dillenbourg, 2013, traducción propia). La orquestación de la clase va más allá de la mera planificación docente, en tanto provee al profesor de diferentes escenarios posibles considerando no solo las actividades estrictamente curriculares, sino también las contingencias que pueden surgir en el aula (Dillenbourg, 2013). La orquestación apoya el proceso de toma de decisiones del profesor al implementar estrategias pedagógicas considerando las relaciones sociales que se desarrollan dentro de la sala de clases (Perrotta & Evans, 2013). Las directrices que componen la orquestación permiten enfocar el proceso de enseñanza en el alumno (Goodyear & Dimitriadis, 2013), haciendo que el estudiante sea el protagonista en la sala de clases, y profesor sea un mediador (Sharpless et al., 2015). La orquestación

planifica las clases asociadas con el currículum de aprendizaje, clasificando las acciones del profesor tanto desde un punto de vista logístico como pedagógico (Nussbaum & Díaz, 2013).

Diferentes trabajos han mostrado que el uso de tecnología con orquestación tiene un mayor impacto positivo en el aprendizaje que el uso de tecnología sin orquestación (Niramitranon, Sharples, & Greenhalgh, 2010; Díaz, Nussbaum, Ñopo, Maldonado, & Corredor, 2015; Díaz, Nussbaum & Varela, 2015). Dentro de una orquestación, la tecnología es sólo un recurso más y no el elemento central del proceso educativo (Díaz et al., 2015). Además, todos los estudios conocidos consideran la componente tecnológica dentro de la orquestación (Phiri, Meinel & Suleman, 2016). Dado esto, es relevante saber si es conveniente orquestar una clase, independiente de si hay o no una componente tecnológica de por medio. Surge así la pregunta de investigación que guía este trabajo: **¿En una clase que está orquestada, la integración de la tecnología entrega siempre valor adicional?**

1.3 Metodología

1.3.1 Muestra y diseño de intervención

Para responder la pregunta de investigación, un estudio experimental se llevó a cabo con dos grupos de estudiantes (Tabla 1-1). Ambos grupos trabajaron bajo la supervisión del mismo profesor, utilizando los mismos documentos de orquestación. La componente diferenciadora era que mientras en el grupo tratamiento la ejercitación de los contenidos ya introducidos por el docente se realizaba colaborativamente en un entorno digital, el grupo control lo hacía individualmente en papel. Los ejercicios desarrollados por ambos grupos fueron equivalentes en términos de su contenido y dificultad.

Tabla 1-1: Componentes de la intervención

Componente	Grupo tratamiento	Grupo control
Contenidos curriculares	Geometría	Geometría
Orquestación	Sí	Sí
Apoyo digital	Sí	No
Tipo de trabajo	Colaborativo	Individual
Profesor	Mismo profesor que grupo control	Mismo profesor que grupo tratamiento
Alumnos en curso	33	32
Alumnos participantes	28 (12 M; 16 F)	25 (14 M; 11 F)

La duración de la experiencia fue de 12 clases, de 90 minutos cada una de ellas. Participaron 65 estudiantes (Tratamiento 33, Control 32), pertenecientes a 2 cursos de cuarto básico de una escuela subvencionada de Santiago de Chile (Tabla 1-1). Durante el desarrollo de la intervención se presenciaron bajas de estudiantes en ambos grupos debido a inasistencias o cambios de colegio. Al considerar como participantes en el estudio aquellos alumnos que realizaron tanto el pre test como el post test, se contó con un total de 53 estudiantes (28 estudiantes del grupo tratamiento conformado por 12 hombres y 16 mujeres y 25 estudiantes del grupo control, conformado por 14 hombres y 11 mujeres). La asignación de tratamiento (o ausencia de tratamiento) a cada curso fue completamente aleatoria considerando ambos cursos en su asignación.

1.3.2 Contenidos curriculares

La intervención se basó en contenidos específicos de geometría pertenecientes a la unidad de líneas de simetría y transformaciones isométricas en figuras planas: reflexión, traslación y rotación. Se eligió este contenido por su transversalidad al estar directamente relacionado con otras áreas de la matemática y también con el desarrollo de la percepción espacial y su consecuente correlato en el mundo real (Sherard, 1981; Lehrer & Chazan, 2012). Adicionalmente, este dominio resulta adecuado para aprovechar las oportunidades ubicuas para las tecnologías digitales como los son la visualización e interacción (Saljö, 1999).

El ejemplo más relevante sobre el uso de tecnología para la enseñanza de geometría es el Software de Geometría Dinámica (DGS de sus siglas en inglés). La principal característica de esta tecnología es la interacción directa con los objetos geométricos,

visualizando en tiempo real los cambios hechos a los objetos (Goldenberg & Cuoco, 1998; Lopez-Real & Leung, 2006). Esta interacción puede facilitar la comprensión y generalización de propiedades geométricas.

1.3.3 Actividad Colaborativa apoyada por soporte digital

En cada sesión, a cada alumno y al profesor se les facilitó un *tablet* en el cual podían iniciar sesión en una aplicación especialmente diseñada para esta experiencia, la cual funcionaba sobre una red inalámbrica local desplegada en el aula. Cada alumno ingresaba con su número de lista, mientras que el profesor tenía un número especial asignado.

El profesor, desde su pantalla podía ver los alumnos que habían iniciado sesión y posteriormente distribuirlos aleatoriamente en grupos de a 3 alumnos.

La actividad colaborativa constaba de una sucesión de ejercicios ordenados por dificultad creciente en los cuales se muestra una figura geométrica sobre una cuadrícula y se solicita obtener la figura resultante al aplicar una transformación isométrica específica o bien hallar las líneas de simetría de la figura inicial.

En cada ejercicio, a cada alumno del grupo se le asigna un color y una o más fichas de ese color que puede arrastrar sobre la cuadrícula. Para los ejercicios de reflexión, traslación y rotación, el objetivo de la actividad es construir la figura objetivo utilizando todas las fichas en juego como vértices (Figura 1-1). En el caso de los ejercicios de líneas de simetría, el objetivo de posicionar las fichas es hallar líneas de simetría de la figura geométrica inicial, utilizando las fichas como los extremos de dichas líneas.

La Figura 1-1 muestra el desarrollo de un ejercicio de reflexión, con sus respectivas partes. Debe tenerse en consideración que, en todo momento, las tres pantallas de los integrantes del grupo muestran exactamente lo mismo. La diferencia radica en la interacción posible para cada uno, en tanto en cada pantalla solo pueden moverse las fichas que corresponden al alumno y color respectivos. La Figura 1-1 muestra el ejercicio desde el punto de vista de uno de los alumnos del grupo, al cual llamaremos “alumno actual”.

En el paso 1 de la Figura 1-1 se presenta una figura trapezoidal que debe ser reflejada en torno al eje vertical, y tres pares de fichas, cada par asociado a un color y un nombre de alumno. Al alumno actual se le asigna el color amarillo ("My tokens", 'mis fichas' en inglés), mientras que a sus compañeros John y Sarah, se le asignan los colores rojo y azul respectivamente. En el paso 2 de Figura 1-1, el alumno actual arrastra las fichas que le corresponden dentro de la cuadrícula (acción simbolizada en la figura con manos de colores). En el paso 3 de Figura 1-1, mueven sus fichas coloreadas respectivas. A penas hayan 3 o más fichas dentro del tablero, el sistema dibujará automáticamente un polígono utilizando las fichas como vértices (Caballero *et al.*, 2014). En el paso 4 de la Figura 1-1, los 3 estudiantes llegan a un acuerdo en cómo armar la figura objetivo. A medida que los alumnos se van acercando a la respuesta correcta, el sistema va entregando feedback visual en la forma de una barra lateral (Paso 4) respectiva al avance logrado. En caso de haber más fichas que las necesarias (paso 5), los alumnos deben ubicar éstos en algún vértice del polígono (paso 6). Una vez alcanzado el objetivo del ejercicio, el sistema entrega el feedback correspondiente indicando la correctitud del ejercicio (Paso 6), y luego el grupo pasa al ejercicio siguiente.

Paralelamente, mientras se desarrolla la actividad, la pantalla del profesor muestra exactamente en qué ejercicio va cada grupo, lo que le permite monitorear de forma activa a los grupos y ayudar a aquellos con problemas (Muijs & Reynolds, 2000). En esta misma pantalla, el profesor tiene la opción de pausar la actividad para todo el curso para explicar alguna duda o pregunta recurrente.

Esta dinámica es idéntica para los ejercicios de reflexión y traslación. En los casos de rotación y líneas de simetría, los ejercicios son levemente diferentes, pero mantienen la esencia de colaborar en base al arrastre de fichas de un color que están sometidas a restricciones propias del dominio del problema (Anexo B).

The figure shows six sequential panels of a digital exercise interface. Each panel is titled 'Exercise 1' and 'Make a reflection of the figure.' The interface includes a grid with a vertical red line of symmetry. On the left side of the grid is a trapezoidal figure. On the right side, tokens (colored dots) are used to construct a reflection. The tokens are: John (red), Sarah (blue), and a shared yellow token. The 'My tokens' bar at the bottom of each panel shows the current count of these tokens. Panel 1 shows the original figure and 4 tokens (2 red, 2 blue). Panel 2 shows the yellow token moved to the right. Panel 3 shows a red token moved to the right and a blue token moved to the top. Panel 4 shows a yellow token moved to the bottom. Panel 5 shows a red token moved to the top and a blue token moved to the bottom. Panel 6 shows the final reflection of the original figure on the right side of the grid.

Figura 1-1: Desarrollo de un ejercicio colaborativo de reflexión

1.3.4 Orquestación

El desarrollo de la clase en ambos cursos fue guiado por documentos de orquestación basados en el modelo propuesto por Nussbaum y Díaz (2013). Para cada una de las temáticas (líneas de simetría, reflexión, traslación y rotación) se desarrolló un

documento de orquestación explicando los momentos pedagógicos de la clase, así como el uso de recursos digitales o convencionales, explicitando aquellas actividades que correspondían al grupo tratamiento, así como las actividades del grupo de control. El profesor fue capacitado en cómo usar los documentos de orquestación aproximadamente un mes antes de que el experimento comience, para que se familiarice con el enfoque orquestado. Esta capacitación consistió en 2 sesiones de 3 horas que incluyeron la enseñanza del uso de todos los recursos a integrar en las clases (incluyendo la aplicación tecnológica).

A partir de las orientaciones de la orquestación, el desarrollo de las clases de ambos grupos incluyó el uso de los siguientes recursos y actividades: pizarra, cuaderno, preguntas abiertas al curso, presentaciones de diapositivas, manipulación de objetos concretos (por ejemplo, hojas de cartulina) y ejercitación individual con lápiz y papel. Todos los recursos anteriormente descritos formaban parte de lo que el profesor del curso declaró como la manera tradicional en la cual él suele enseñar dichos contenidos. La principal diferencia entre la orquestación de ambos grupos radicó en que las directrices para el grupo tratamiento contemplaron el trabajo en actividades digitales colaborativas y que el grupo control trabajó en actividades de lápiz y papel (Anexo A). El diseño de las actividades para ambos grupos fue supervisado por el mismo equipo de expertos que desarrolló el instrumento de medición, procurando establecer que las actividades de ambos grupos sean equivalentes, además de que cubrieran contenidos similares y que la progresión de dificultad en los ejercicios sea idéntica.

1.3.5 Instrumentos

Para medir el impacto del uso de recursos digitales se evaluó solo el aprendizaje de los estudiantes, por lo cual la unidad de análisis es la diferencia de resultados de aprendizaje que reportaron los estudiantes de grupo tratamiento y control, pre y post intervención. El instrumento para recolectar esta información consistió en una prueba de aprendizaje (misma para pre y post) desarrollada por profesores de matemáticas externos al colegio, orientada a medir conocimientos en geometría en las áreas de

líneas de simetría, reflexión, traslación y rotación (contenidos trabajados mediante las orquestaciones desarrolladas). El instrumento se aplicó antes y después de la experiencia, en condiciones idénticas.

Estructuralmente la prueba consistió en 20 preguntas de selección múltiple, cada una de ellas con 5 alternativas, teniendo una respuesta correcta única. La duración de la evaluación fue de 30 minutos, en los cuales todos los estudiantes alcanzaron a terminar la prueba. La validez interna de este instrumento fue verificada a través del criterio del Alfa de Cronbach ($\alpha = 0.626$ para el pre test y $\alpha = 0.664$ para el post test). Un valor superior a 0.6 supone un test aceptable para clasificar a los estudiantes en base a los contenidos vistos (Bland & Altman, 1997).

1.4 Resultados

Se realizaron pruebas-t pareadas, según los puntajes del pre test y del post test. Estos resultados se exponen en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Prueba-t para Post test-Pre test por curso

Grupo	Diferencias pareadas (Post test – Pre test)					Valor t	g.l.	p	Tamaño del efecto, d de Cohen
	Promedio	Desviación estándar	Error estándar de la media	IC al 95%					
				Cota inferior	Cota superior				
Control	5,76	3,02	0,604	4,51	7,01	9,54	24	<0,001	2,11
Experimental	4,86	3,73	0,705	3,41	6,30	6,89	27	<0,001	1,51

Ambos grupos de estudio, tanto el grupo control como tratamiento, presentaron una mejora estadísticamente significativa en el post test en relación a los resultados de su pre test. Asimismo, para ambos grupos es posible hablar de un tamaño de efecto grande (Cohen, 1987) aunque fue mayor en el grupo de control.

Para responder nuestra pregunta de investigación sobre el efecto de la tecnología en un curso con recursos orquestados se realizó un análisis de covarianza de un factor (ANCOVA) con el fin de detectar diferencias estadísticamente significativas entre el puntaje de post test de los grupos control y experimental, controlando por el puntaje de

pre test. Los resultados muestran ($F(1,51)=0.0418$; $p = 0.839$) que no es posible identificar diferencias entre ambas clases orquestadas (con y sin tecnología). Esto también es verificable analizando la diferencia entre las medias ajustadas obtenidas para cada grupo en el ANCOVA (Control = 15,72 , Experimental = 15,57). El supuesto de homocedasticidad de ANCOVA fue evaluado mediante el test de Levene ($F(1, 51)=3,354$, $p=0,073$), lo que indica que las varianzas son homogéneas.

1.5 Discusión y Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue estudiar si en una clase que está orquestada, la integración de la tecnología entrega siempre valor adicional. Observamos experimentalmente que en las doce sesiones que duró la experiencia ambos grupos aprendieron en forma significativa con un tamaño de efecto grande. El hecho de que ambos grupos estén orquestados, hace un buen uso del tiempo del profesor y de todos los recursos disponibles en aula. La tecnología es un recurso más dentro de la orquestación, siendo no lo suficientemente significativo para hacer la diferencia en el aprendizaje curricular. La respuesta a nuestra pregunta de investigación es pues que es conveniente orquestar una clase, independiente de si hay o no una componente tecnológica de por medio.

La orquestación de esta experiencia proveyó a los alumnos con una serie de oportunidades diversas para aprender geometría, incluyendo a la tecnología en el grupo tratamiento como un recurso más. Los resultados muestran que la variedad de experiencias provistas por el profesor permitió que los estudiantes de ambos grupos consolidaran su conocimiento sobre la materia estudiada. Dado que no hubo diferencia significativa entre ambos grupos, el conjunto de actividades digitales incluidas en el grupo tratamiento no aportó valor adicional al aportado por el resto de los recursos, con respecto a los resultados de aprendizaje medidos por este instrumento. Esto es coherente con los descubrimientos de la OECD (OECD, 2015) que indican que no hay mejoras apreciables en los logros de los estudiantes en comprensión lectora,

matemáticas o ciencias en los países que invirtieron significativamente en ICT para la educación.

Sin embargo, el uso de dispositivos digitales ha mostrado un efecto positivo en el aprendizaje de los alumnos (Cheung & Slavin, 2013; Mo *et al.*, 2014). Aun cuando la componente digital está consistentemente integrada en el trabajo en la sala de clases con tal de proveer a los alumnos distintas experiencias, estas deben tener un valor adicional por sobre el provisto por los dispositivos convencionales para que su uso haga valer los costos adicionales (tiempo, hardware/software, capacitación, etc.) que trae introducirla. En nuestra experiencia, el valor adicional de la tecnología fue el elemento colaborativo. La principal lección de este estudio es que cuando vamos a introducir tecnología esta debe proveer un valor agregado en la dimensión del objetivo definido para la experiencia. Por ejemplo, en el uso de texto animado en el aprendizaje de matemática básica (Luzón & Letón, 2015) o en el uso de “aula invertida”, método de aprendizaje semipresencial, para reforzar el logro de pensamiento crítico en los alumnos (Kong, 2015), el objetivo de la experiencia apunta al uso de tecnología. En nuestra experiencia, este no es el caso. El objetivo fue el aprendizaje de geometría y la colaboración a través de la tecnología fue solo una manera de lograrlo

Las limitaciones de este trabajo incluyen que la mejora en las habilidades colaborativas entre los estudiantes no fue medida y, así, no se reconoció valor agregado en la tecnología. Otra limitación es el reducido tamaño de la muestra que puede resultar como una explicación alternativa al hecho de que no hubo diferencias significativas entre los grupos. Así, trabajos futuros podrían considerar analizar una muestra de mayor tamaño y enfocarse en medir todas las habilidades posibles que la tecnología puede fomentar, como por ejemplo el desarrollo de habilidades del siglo XXI (Rotherham & Willingham, 2010), como son la colaboración (Chounta and Avouris, 2016) o el pensamiento crítico, (Heijltjes *et al.*, 2015).

2 **MODELO PEDAGÓGICO COLLPAD Y COLLPAD 2**

Si bien la tecnología puede o no estar presente en una clase, la experiencia llevada a cabo en el capítulo 1 (Díaz *et al.*, 2016), que llamaremos Ambientes de Aprendizaje para Geometría (AAG), concluyó con foco en la conveniencia de que esta esté orquestada para lograr aprendizaje en forma significativa. En otras palabras, en una clase que está orquestada, la tecnología en realidad no aporta valor agregado entre los recursos existentes para alcanzar un aprendizaje mejor logrado. En el capítulo 1 se indica que el elemento de valor en la tecnología usada en esa experiencia era la colaboración, sin embargo, tras el estudio no fue posible asegurar su existencia. Queda como oportunidad de investigación determinar qué debe tener la tecnología para que sea un aporte en el aprendizaje por sobre los recursos tradicionales.

2.1 **Oportunidades sobre AAG**

La tecnología ha estado presente en la sala de clases desde hace ya tiempo. Los estudios de qué tanto la tecnología digital puede utilizarse en apoyar la colaboración entre alumnos ya son varios (Nussbaum *et al.*, 2009; Janssen *et al.*, 2007; Pavlovych & Stuerzlinger, 2008). Toyama (2011, 2014) la muestra incluso como amplificadora de las capacidades de los sistemas educativos, pudiendo fortalecer las buenas prácticas como empeorar las deficientes.

El estudio PISA¹ del 2015 recalca lo importante del desarrollo en la colaboración como competencia que debe ser desarrollada en la edad escolar (Davidson, 2012; De Jong, 2012). En esa línea, han existidos distintos enfoques en cuanto a cómo utilizar la colaboración en la sala de clases. Para desarrollar esta competencia a través de la tecnología, algunos enfoques buscan cómo los alumnos en grupo exploran y razonan al aprender (Crook, 1994; Dillenbourg, 1999), mientras que otros buscan apoyar el aprendizaje colaborativo desde el ámbito social y la

mediación a través de la tecnología (Zurita & Nussbaum, 2004, 2007). Asimismo, la literatura ha comenzado a introducir, cada vez más, ejercicios que presenten colaboración (Stahl *et al.*, 2006; Zurita & Nussbaum, 2004; Janssen *et al.*, 2007; Szewkis *et al.*, 2011; Hung, Young & Lin, 2009; Zea, Sanchez & Gutierrez, 2009; Álvarez *et al.*, 2013; entre otros) debido a que los alumnos se desempeñan mejor al resolver problemas colaborativamente que individualmente (Johnson, Johnson, & Stanne, 1985; Roschelle & Teasley, 1995; Gokhale, 1995). Además, el desarrollo cognitivo de aprendizaje es más influenciado cuando se trata de aprendizaje colaborativo (Dillenbourg, 1999).

La experiencia AAG, como los trabajos mencionados, también presenta integración de tecnología en la sala de clases. Como fue expuesto en el capítulo 1, esta diseña una actividad con colaboración inmersa en una clase orquestada. La orquestación es el uso óptimo de los recursos disponibles en el aula (Díaz, Nussbaum & Varela, 2015), y ha habido experiencias exitosas de orquestación con tecnología logrando mayor aprendizaje al estar presente que al estar ausente (Díaz, Nussbaum & Varela, 2015; Niramitranon, Sharples, & Greenhalgh, 2010). En AAG se expone que el valor agregado del estudio es el elemento colaborativo de la tecnología. Y dado que la colaboración no fue analizada, cabe la posibilidad de desarrollar un modelo que asegure la existencia de colaboración y, así, determinar si esto hace que la tecnología aporte valor agregado en la orquestación. Para introducir una tecnología a la sala de clases, esta debe proveer de un valor agregado en la dimensión del objetivo definido para la experiencia. Así, surge la oportunidad de desarrollar un modelo de clases colaborativo en que el objetivo sea aprender colaborativamente y que asegure la existencia de colaboración.

En particular, en la experiencia AAG, la colaboración contó con elementos distractores. Por ejemplo, se mencionó que las actividades del software utilizado en las actividades contaban con un feedback automatizado dirigido. Dado que los

¹ Siglas del inglés de Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes.

alumnos podían averiguar, al interactuar con la aplicación, qué tan cerca estaban de una respuesta 100% correcta, el software podría haber perjudicado el involucramiento de los niños en el aprendizaje al desarrollar los ejercicios, debido a que, en cierta manera, sus respuestas podrían haber estado sesgadas. Así, por cómo está construido el sistema, se pudo apreciar que favorecía el estilo de *Wandering dragging* (Arzarello et al., 2002). En otras palabras, el sistema no permite al profesor adaptar adecuadamente la enseñanza para sacar provecho de la tecnología utilizada (Olive, 2000), si no que podríamos encontrarnos en una situación en que los niños se guían hacia la respuesta correcta solamente comprendiendo el feedback recibido, en vez de encontrar la respuesta por cuenta propia. Esto es fundamental considerarlo al crear estructuras de colaboración. Preguntas que surgen de esto son: ¿Es posible asegurar de mejor manera que en el diseño realizado en AAG haya una colaboración bien lograda? O, una vez asegurada la colaboración, ¿ofrece la tecnología oportunidades significativas de fomento al aprendizaje que no son sustituibles con una clase sin tecnología?

2.2 Modelo CollPad en el 2009

En la búsqueda de una estructura o *scaffold* que permita realizar ejercicios en clases de manera colaborativa entre grupos, Nussbaum et. al. (2009) introducen un modelo y una serie de pasos que los autores denominan *CollPad*. Esta estructura de ejercicios llama la atención, pues para lograr que los alumnos se relacionen colaborativamente, la tecnología “guía y media las interacciones entre los estudiantes a medida que trabajan usando una secuencia estructurada de compartir información y construir conocimiento” (Nussbaum et al., 2009, traducción propia). El modelo, consistente a grandes rasgos en desarrollo de preguntas de manera individual y grupal, también llama la atención por el hecho de que considera problemas abiertos en su desarrollo. A su vez, el *scaffold* se puede acomodar a distintos dominios de conocimiento en la clase, al ser un modelo abstracto con preguntas de respuesta abierta. Además, permite

desarrollar habilidades sociales, al asignar grupos de alumnos de manera aleatoria para cada sesión en que se utilice, lo que invita a la interacción entre ellos.

El *scaffold* colaborativo que es CollPad consta de cinco fases relevantes que van guiando las actividades (Nussbaum *et al.*, 2009). La Fase 0 consta del profesor introduciendo la actividad a realizar a continuación. Luego, en la Fase 1 cada niño desarrolla el trabajo de manera individual. Una vez que todos los alumnos de un grupo terminan de desarrollar el ejercicio, continúan con la Fase 2. En esta fase, el grupo deberá escoger si entregar como respuesta la realizada individualmente por alguno de ellos (2a), o bien desarrollar una nueva respuesta entre todos (2b). De ser este último el caso, el control del desarrollo se le otorga a un alumno del grupo de forma aleatoria por el sistema. Él es el representante de su grupo, por lo que el resto de los integrantes deben conversar y discutir con él cómo desarrollar el ejercicio para que la respuesta entregada corresponda a la de todo el grupo. Finalmente, luego de que todos los grupos terminan la actividad, en la Fase 3 el profesor guía entrega una respuesta y una reflexión sobre el ejercicio. La Figura 2-1 presenta el modelo CollPad original como diagrama.

CollPad fue probado en tres colegios del Reino Unido y dos colegios de Chile, en busca de cómo los profesores y niños se desenvolvían al desarrollar los modelos y ver si los profesores integran tecnología en su enseñar del día a día. El resultado de la experiencia CollPad y la aprobación de los alumnos y profesores que participaron de ella, dan una clave y guía a las respuestas de las preguntas anteriores. Después de todo, el desarrollo del *scaffold* en salas de clases mostró que, efectivamente, la tecnología ofrece oportunidades significativas de fomento al aprendizaje que no son sustituibles con una clase sin tecnología.

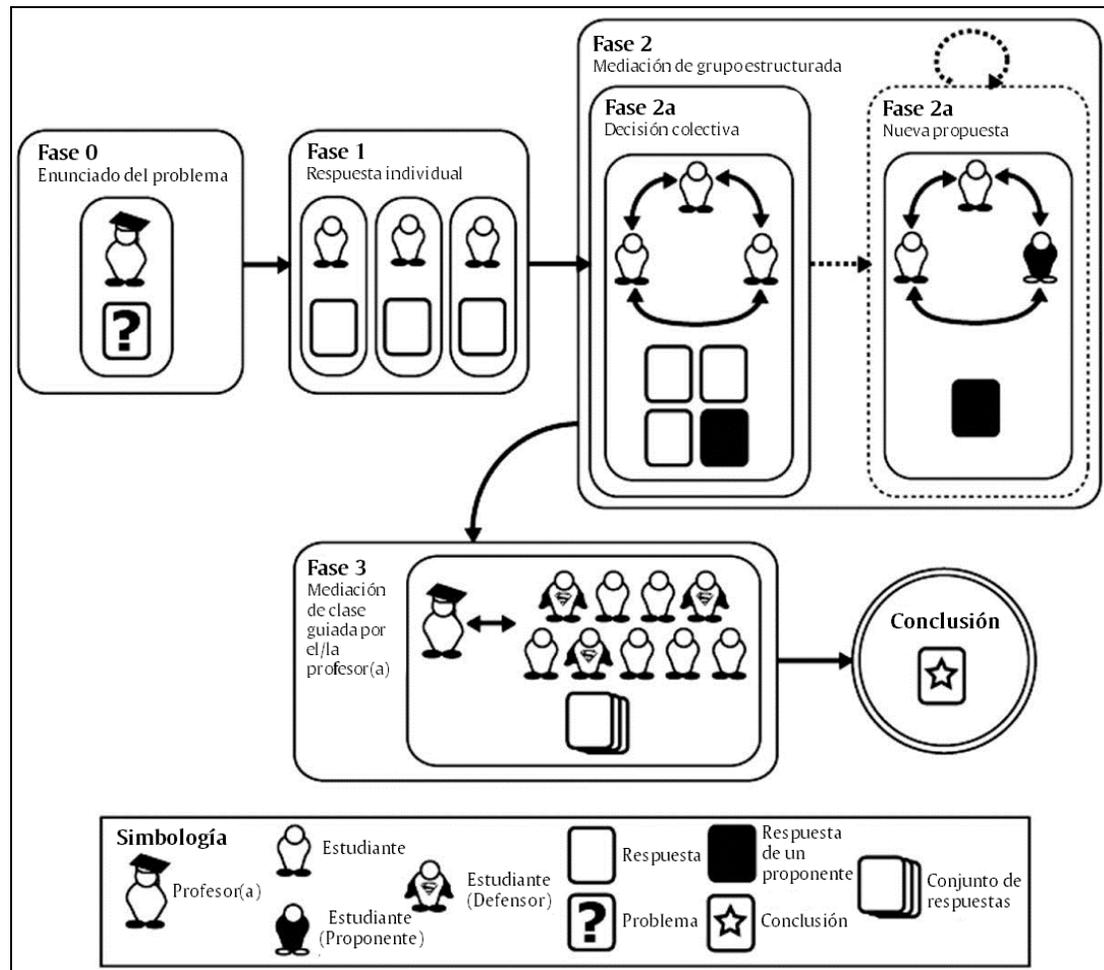


Figura 2-1: Diagrama de CollPad original

Fuente: Nussbaum, M. *et al.* (2009). Technology as small group face-to-face Collaborative Scaffolding. *Computers & Education*, 52(1), 149; traducción propia.

2.3 Oportunidades a partir de la experiencia CollPad

La experiencia de CollPad sugiere, entonces, que la “tecnología apropiadamente diseñada puede apoyar la discusión en grupo” para generar conocimiento (Nussbaum *et al.*, 2009, traducción propia). Las experiencias realizadas mostraron las oportunidades de aprendizaje, a través de la colaboración, que se logran con ello. También, los profesores, en las entrevistas, señalaron lo difícil que es hacer trabajar a sus alumnos con compañeros que no les gustaban, barrera

que se vio disminuida con el uso de la tecnología. Es decir, un primer aspecto a rescatar de este modelo es el desarrollo de habilidades sociales que permiten llegar mejor a un trabajo colaborativo.

Por otra parte, otro factor importante que aporta la tecnología a través de CollPad es la estructuración o *scaffolding* colaborativo de las actividades para que exista discusión. El diseño de las etapas exigía conversación entre los niños para determinar la respuesta a entregar y continuar con el ejercicio una vez logrado un acuerdo.

Otro aporte significativo del modelo de Nussbaum *et al.* (2009) es el hecho de que es específico para la resolución colaborativa de problemas abiertos. Según Gillies (2006), esto favorece la interacción entre los alumnos para encontrar un común acuerdo en la manera en resolver un problema.

Por lo mismo, el modelo de CollPad da la base y prueba de cómo la tecnología sí ofrece oportunidades significativas de fomento al aprendizaje que no son sustituibles con una clase sin tecnología, al presentar a la tecnología a través de un modelo constructivista para la generación de conocimiento (Nussbaum *et al.*, 2009). Así, la tecnología puede aportar en la sala de clases desde el ámbito social hasta el aprendizaje. Sin embargo, hay algunos aspectos que vale la pena cuestionarse para utilizar este *scaffold*.

Lo primero es la tecnología a la fecha del experimento. Los dispositivos utilizados por los investigadores el 2009 fueron los denominados Pockets PC (oficialmente llamados PDA por *Personal Digital Assistant*). Las pantallas presentes en estos dispositivos son muy pequeñas, de 240x320 pixeles, lo que “limita la expresión de los estudiantes a dibujos simples y/o frases de no más de 25 palabras” (Nussbaum *et al.*, 2009, traducción propia). De aplicar el modelo hoy día, o uno modificado, se podrían utilizar *tablets* más grandes y de mayor facilidad en su manipulación por parte de los alumnos para la ejecución del modelo.

Por otra parte, en CollPad llama la atención la idea de escoger a un representante del grupo al momento de construir la respuesta final grupal. Es decir, al haber tres dispositivos por grupo, hay una etapa de la actividad en que sólo uno se vuelve activo mientras los otros dos se inactivan. En este momento, los dueños de los dispositivos inactivos deberán conversar verbalmente con el representante del grupo, omitiendo la existencia de sus propios dispositivos. En otras palabras, hay tecnología que no está siendo utilizada en ese momento. Solo la posibilidad de que el profesor lo seleccione para defender su respuesta en la última fase los haría participar y opinar sobre el desarrollo de la respuesta. Esta concepción podría llevar a problemas en la participación de los alumnos, como de *free-riders*² (Dillenbourg, 2002) y sobre el uso de poder que podría hacer que algunos estudiantes no participen como se supone (Salomon & Globerson, 1989; Johnson, 2005). Es más, cabe notar que la responsabilidad de la respuesta cae en un integrante, es decir, no es compartida, impidiendo lograr el óptimo de colaboración propuesto por Roschelle & Teasley (1995).

Por último, otra particularidad de la concepción utilizada por Nussbaum *et al.* (2009) en la construcción de CollPad fue la existencia únicamente de dos roles entre los alumnos: quien desarrolla la respuesta recibiendo las opiniones de su grupo, y quien le opina al representante del grupo sobre la respuesta grupal. De todas maneras, hay un rol que es menos activo que el otro. Surge, entonces, también la alternativa de utilizar una nueva manera de abordar la colaboración que cree y utilice roles que aseguren una participación activa en la construcción de la solución.

Ahora bien, también podemos considerar el hecho de que hoy en día la tecnología permite trabajar en pantallas más grandes y son más accesibles y, además, el contexto tecnológico actual hace que un *tablet* sea más familiar en su

² El término *free-rider* corresponde a los alumnos de un grupo que participan poco o nada en el desarrollo de un problema, en comparación al trabajo de sus compañeros.

uso. Por otro lado, hoy en día existen herramientas que facilitan el desarrollo de aplicaciones en red con interacción en tiempo real.

Así, surge la idea de cambiar la concepción de la experiencia CollPad y hacer que los tres integrantes participen activamente en la construcción de la respuesta grupal. Una concepción que lograría lo mismo que CollPad (presenta a la tecnología como mediadora en el aprendizaje y le da foco a la colaboración en las actividades) y además aprovecharía de mejor manera las nuevas tecnologías. Así, crear un modelo en que la tecnología sea una ayuda a CollPad. Sin embargo, esta concepción debería estar validada para que, así, asegure colaboración.

De ser esto posible, efectivamente la tecnología podría ofrecer oportunidades significativas de aprendizaje que no sean sustituibles con una clase sin tecnología a través, ahora, de un nuevo modelo. De ahí, entonces, surgen las preguntas de investigación que se buscan resolver con esta tesis. ¿Es posible generar un *scaffold* de ejercicios para que sean desarrollados en clases de manera colaborativa? De ser así, ¿cuál es el impacto de la utilización de una tecnología que represente este modelo sobre el aprendizaje ante una clase orquestada, comparándola con una clase orquestada en ausencia de tecnología?

2.4 Componentes existentes

Considerando, entonces, el objetivo y limitantes de la experiencia AAG y los logros y oportunidades de la experiencia CollPad, la propuesta de la presente tesis busca diseñar un nuevo *scaffold* a partir de CollPad que asegure colaboración y aporte valor al integrarse dentro de una orquestación de clase. Sin embargo, debe asegurar la existencia de colaboración a través de un modelo que lo permita.

2.4.1 Condiciones para el aprendizaje colaborativo

Szewkis *et al.* (2011) enlistan las diversas condiciones que deben cumplirse para lograr alcanzar colaboración en la sala de clases, según la literatura. El

cumplimiento de estas condiciones ha sido corroborado por diversos autores con el fin de determinar que la colaboración en sus diseños se logre (Szewkis *et al.*, 2011; Echeverría *et al.*, 2011; Álvarez, Salvati, Nussbaum & Milrad, 2013; Chung, Lee & Liu, 2013; Caballero *et al.*, 2014). Estas son:

- Meta común: todos los integrantes comparten el mismo objetivo (Dillenbourg, 1999).
- Interdependencia positiva: los integrantes están conectados de tal manera que el objetivo puede ser logrado sólo si todos cumplen sus roles (Johnson & Johnson, 1999).
- Coordinación y comunicación: los integrantes deben manejar las interdependencias entre ellos en las actividades para lograr un objetivo (Gutwin & Greenberg, 2004).
- Responsabilidad individual: si un integrante realiza una acción, todos sus compañeros observan la consecuencia (Slavin, 1996).
- Tomar conciencia: los integrantes deben ser conscientes del trabajo de sus compañeros de grupo para participar en las actividades en que son necesitados (Janssen, Erkens, Kanselaar & Jaspers, 2007).
- Mismo premio y castigo: así, los integrantes buscarán maximizar la utilidad del conjunto, y no el individual (Axelrod & Hamilton, 1981; Zagal, Rick & Hsi, 2006).

Además, Caballero *et al.* (2014) incluye una séptima condición:

- Apoyo entre compañeros: el objetivo sólo será posible alcanzarlo si se enseñan y asisten los unos a los otros (Slavin, 1996).

Estos autores, después de todo, entregan un marco de evaluación que permite corroborar el éxito de la colaboración en una actividad. Así, esto permite determinar algunos aspectos de AAG y de CollPad que podrían ser modificadas para diseñar el nuevo modelo buscado. Para ello, se revisará condición a condición la situación para ambas experiencias, y se determinará la acción a

tomar para el nuevo modelo que se busca diseñar. El diseño final de este modelo se presentará en la sección 2.5.

2.4.1.1 Meta común

Lograr aprendizaje a través de la colaboración como un resultado de una interacción social puede lograrse cuando los miembros de un grupo hacen un esfuerzo en conjunto para resolver el problema (Zurita & Nussbaum, 2004; Roschelle & Teasley, 1995). En AAG, esta condición ya se está cumpliendo, dado que se les entrega un mismo enunciado a todos los integrantes del grupo, y los tres deben llevar a cabo el mismo trabajo. Lo mismo ocurre en CollPad, dado que en la Fase 0 se les enuncia el mismo problema todos los integrantes del grupo.

Así, no es necesario alterar nada asociado a esta condición al crear un nuevo diseño, por lo que se mantendrá la misma idea.

2.4.1.2 Mismo premio y castigo

Para que esta condición se cumpla y todos trabajen para maximizar la utilidad del conjunto, deben todos recibir las mismas recompensas y castigos.

Para la experiencia de AAG, existe un sistema de *feedback* automatizado que está asociado a cada grupo, y no a cada individuo. Luego, las acciones realizadas por cada uno aumentan y disminuyen el porcentaje de logro de manera igual a todos los integrantes de ese grupo.

Por el lado de CollPad, también se cumple la condición. En la Fase 3, el sistema escoge a un representante del grupo, y el profesor lo haría presentar la respuesta grupal. Si bien es un alumno la cara de la respuesta, esta está asociada al grupo en general, por lo que los comentarios que haga el profesor de lo bueno o malo que tiene el desarrollo quedará asociado al grupo.

En un nuevo modelo, dado que el software de CollPad no consideró un sistema automatizado de *feedback*, se considerará este enfoque para su desarrollo. Esto es para evitar el *Wandering dragging* mencionado en la sección 2.1.

2.4.1.3 Tomar conciencia

Para que se logre esta condición de la colaboración, todos los integrantes de un grupo deben estar conscientes de su trabajo actual, así como el de sus compañeros: lo que tienen y lo que hacen (Zurita & Nussbaum, 2004).

En el caso de AAG, esto se logra de manera adecuada, ya que los dispositivos que se manejan presentan colaboración síncrona. Es decir, los alumnos pueden ver en su *Tablet* el estado de la respuesta, además de identificar sus fichas y, también, ver lo que sus compañeros hacen. Esto último se logra ya que cada ficha de sus compañeros está asociada a su color asignado dentro del grupo, además de que, si un compañero de grupo mueve una ficha en su dispositivo, ese movimiento se ve inmediatamente reflejado en el dispositivo de sus compañeros, en tiempo real.

En el caso de CollPad, esto no está tan logrado. En la fase colaborativa en que un solo representante trabaja en la respuesta grupal, sus compañeros deben observar ese dispositivo activo para ver el estado actual de las respuestas. Sus dispositivos permanecen inactivos hasta que el representante indique que la respuesta está lista, momento en que se mostrará esa respuesta en los dispositivos hasta ese momento inactivos.

Para mejorar este asunto, requerimos de un modelo que, como AAG, muestre en tiempo real el estado de la respuesta del grupo, así como el de todos sus compañeros.

2.4.1.4 Apoyo entre compañeros

La asistencia y enseñanza entre los mismos integrantes del grupo son fundamentales para lograr la colaboración (Slavin, 1996).

Tanto en AAG como en CollPad esta condición sí se cumple. Dado que cada alumno tiene su propio dispositivo, son los únicos que pueden interactuar con él. Así, cuando un integrante requiere de asistencia, naturalmente en ambas actividades sus compañeros lo ayudarán y asistirán de tal manera de que sepa qué es lo que debe hacer. En AAG es necesario para que el alumno sepa dónde colocar la ficha si no lo sabe, y en CollPad los alumnos aportan con sus ideas y ayuda si es que el representante no maneja muy bien la materia.

Por lo mismo, el nuevo modelo no debe ser alterado con respecto a estas actividades, pues ya se encuentran cubriendo esta condición. Solamente hay que asegurarse que sea un modelo en que cada alumno tenga también su propio dispositivo.

2.4.1.5 Responsabilidad individual

Para que se logre esta condición, cada integrante del grupo debe tener un identificador único que permita que sus compañeros identifiquen su trabajo.

En AAG, esto también se cumple dado que la asignación de colores por integrante permite a los alumnos asociarlas con algún integrante del grupo en particular. Así, su desarrollo se vuelve reconocible por sus compañeros y para él mismo.

En CollPad, esto no ocurre de manera fuerte. Ocurre de manera leve solamente en dos ocasiones. Una es al reconocer el trabajo individual de sus compañeros una vez que todos lo terminan. Eso sí, esto no conlleva una acción colaborativa consigo, sino que es la identificación de la respuesta desarrollada individualmente por cada uno. La segunda ocasión es cuando el sistema identifica al responsable, pues todos los integrantes sabrán quién es. Sin embargo, el trabajo de los dos integrantes que asumen el rol de asistir la respuesta de manera verbal no tendrán trabajo y, por lo tanto, no será reconocible tangiblemente por sus compañeros.

2.4.1.6 Interdependencia positiva

Al existir esta condición, los alumnos se dan cuenta de que el éxito del objetivo se logra sólo si todos los integrantes de su grupo lo logran (Szewkis *et al.*, 2011). En AAG, esta condición sí se cumplió pues todos los integrantes de un grupo debían trabajar juntos para lograr el éxito. Sin embargo, en CollPad esto no es así.

En la fase colaborativa de CollPad, como fue mencionado, existían dos roles: uno activo y constructor directo de la respuesta grupal, y el otro más pasivo, al aportar verbalmente en la respuesta grupal. Debido a los potenciales casos de *free-riders* o de abuso de poder, el aporte de algunos alumnos podría ser dispensado.

Para lograr solucionar, es necesario que, en el nuevo *scaffold* a diseñar, los tres alumnos estén actuando activamente. Se podría trabajar actividades cuya manera de responder implique la distribución del trabajo en roles. Sin embargo, esto conlleva a que no sea un desarrollo de respuestas abiertas. De así serlo, las respuestas podrían terminar siendo caóticas o poco claras en qué tanto debe hacer cada uno, por lo que se opta por que el modelo se ajuste a problemas que requieran distribución de roles.

2.4.1.7 Coordinación y comunicación

Spada *et al.* (2005) afirma que, sin una comunicación adecuada, es imposible lograr exitosamente la colaboración. A su vez, la coordinación asegura que las interacciones se realizan cuando deben hacerse (Szewkis *et al.*, 2011).

En AAG, para lograr construir la figura final, los alumnos debían comunicarse y coordinarse para lograr ubicar las fichas para poder responder la pregunta.

Sin embargo, para el caso de CollPad, la existencia de solo dos roles vuelve a ser problema. Esto permite, nuevamente, la potencial existencia de *free-riders* y abuso de poder, que haría que la comunicación o coordinación, en la forma de comunicar ideas y supervisar respuestas, no se lleven adecuadamente.

Esto también es posible resolverlo a través de la creación de roles de manera tal que todos requieran trabajar, y se exija la comunicación y coordinación entre todos. Se podría aprovechar la lógica de AAG en que se pueda asignar partes de la respuesta a cada uno de los integrantes al diseñar el modelo.

2.5 CollPad 2

Para resolver los asuntos de Interdependencia positiva y Coordinación y comunicación entre los pares presente en CollPad, surgió la posibilidad de hacer que los alumnos cumplan un rol dentro de la colaboración. Esto es, permitir diferenciar el trabajo que debe realizar cada uno para llevar a cabo el desarrollo de la actividad y que se comuniquen y coordinen para lograr el objetivo.

2.5.1 Cambios sobre CollPad

Por las razones recién mencionadas, se retomará el modelo pedagógico de CollPad y se alterará para que se cumplan las condiciones de colaboración. En particular, los cambios que se realizarán son:

- El modelo a diseñar en esta ocasión mejorará la colaboración permitida en los ejercicios. Ya no será un solo alumno quien responda por todos sus compañeros de grupo, si no que esta vez todos serán responsables en el desarrollo para la respuesta. Este cambio de concepción del desarrollo permite aprovechar mejor las nuevas tecnologías existentes y los dispositivos de mayor tamaño en la pantalla, pues se facilita su manipulación.
- El modelo permitirá que todos los integrantes de un grupo puedan participar activamente, mientras el resto ve en tiempo real lo que ocurre con la respuesta grupal. Es decir, tanto las manipulaciones suyas como la del resto de sus compañeros se verán inmediatamente reflejadas en sus dispositivos.

Finalmente, el modelo permitirá la colaboración síncrona y activa-directa entre todos, no como en CollPad que la colaboración se daba solamente por las instrucciones que los compañeros le daban, o no, a su compañero responsable. De esta forma, se asegura una atribución de roles para cada uno de los integrantes de un grupo de trabajo.

2.5.2 Modelo pedagógico de CollPad 2

Considerando todo lo anterior, nace CollPad 2. Este es un modelo que muestra una clara influencia de CollPad, pero que incluye todo lo mencionado a lo largo de esta tesis. La Figura 2-2 presenta el diagrama del modelo, y se continuará con una explicación detallada de cada fase.

Fase 0. En esta fase, las tareas a realizar no presentan variación alguna con el modelo de CollPad original. En ella, el profesor presenta, en una pantalla compartida o enunciando el desafío, la actividad a llevar a cabo, como un problema a resolver. Esto también es mostrado en las pantallas de cada individuo, y se les pide que trabajen en la tarea de manera individual.

Fase 1. Los estudiantes desarrollan su trabajo de manera individual. Así, queda expresado el conocimiento propio del estudiante y su comprensión de la actividad a desarrollar, dado que él/ella es el/la único/a que está trabajando en ello, sin la influencia de sus compañeros.

Fase 2. Una vez que todos los individuos de un grupo han entregado sus respuestas individuales, el grupo continúa a la fase colaborativa. En esta fase, al igual que en el modelo de CollPad original, los alumnos podrán analizar y rescatar el conocimiento generado por cada uno de los integrantes de forma individual. Esto se logrará dado que el modelo les mostrará cada una de las respuestas mientras se desarrolla esta fase colaborativa, para poder incitar a la discusión.

En esta fase, el trabajo para lograr la respuesta se divide entre los tres integrantes del grupo. De esta manera, queda al raciocinio de cada alumno la decisión de qué puede y debe hacer para resolver el enunciado

colaborativamente con sus compañeros, a través de su propio dispositivo. En esta fase es donde se logra la colaboración, dado que están todos los individuos participando en la construcción de una respuesta al participar en partes que son necesarias para desarrollar la actividad. El objetivo de la fase es que los alumnos lleguen a un consenso (Vigotzky, 1978), entendiéndose como que todos los alumnos del grupo están en el mismo nivel de entendimiento y están todos de acuerdo con la respuesta entregada. Si los alumnos no han llegado al acuerdo, deben discutir y ver cómo solucionar la discusión para intentar llegar a la comunión que satisfaga a todos. De no ser así, el modelo no les permitirá terminar el ejercicio.

El profesor en esta fase, al igual que en CollPad, cuenta con un rol crucial al orquestar una colaboración fructífera (Nussbaum *et al.*, 2009). El profesor puede visualizar cuál es el avance de cada uno de los grupos en tiempo real, pudiendo presentarlo en pantalla compartida si se dispusiera de ella. De esta manera, el profesor puede evitar que algunos alumnos estén perdidos en la actividad si no ve avance en su respuesta, se desvía de lo esperado, o la discusión se está alargando más de lo necesario.

Fase 3. Finalmente, una vez que el profesor denota el fin de la actividad en desarrollo, comienza la fase de mediación, que tampoco presenta diferencia en cuanto al desarrollo realizado en CollPad. Una posible manera de llevar a cabo es que el profesor seleccione el desarrollo de algún grupo, y lo exponga en la pantalla compartida, de poseer una, o la compartirá en el pizarrón. A partir de esta, fomentará la discusión sobre el resultado obtenido, para luego sacar la conclusión de la actividad realizada. Posterior a esto, el profesor puede escoger otra actividad a desarrollar, reiniciando el ciclo.

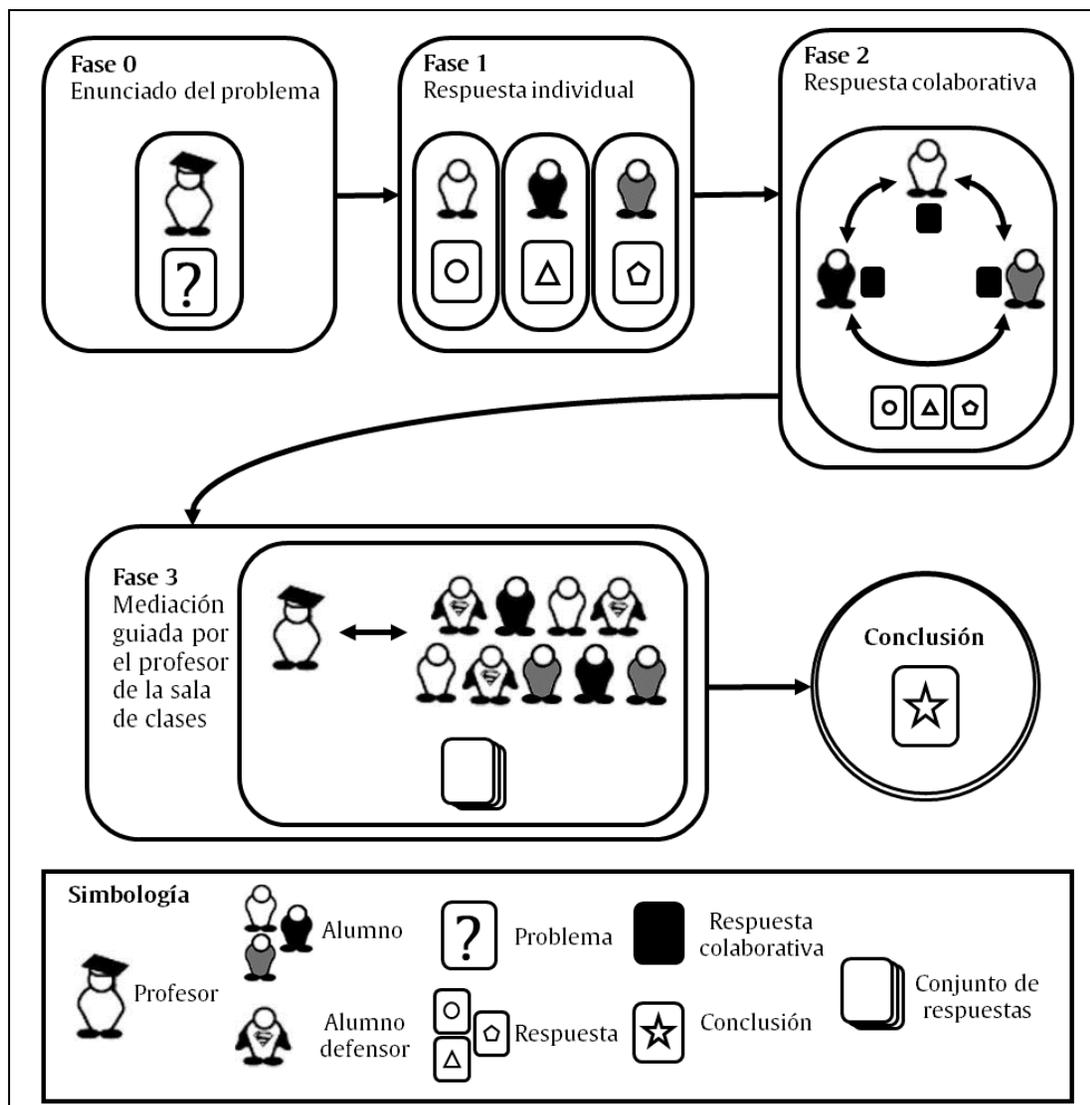


Figura 2-2: Modelo pedagógico CollPad 2

Un ejemplo de desarrollo del modelo quedará detallado en la sección 3.2 de este documento, en que se desarrolla un software que aplica este modelo en ejercicios de geometría.

2.5.3 Verificación de las condiciones de colaboración

El modelo de CollPad 2 cumple con las condiciones de colaboración definidas por Szewkis *et al.* (2011) y Caballero *et al.* (2014). La manera en que son satisfechas se muestran en la Tabla 2-1.

Además de seguir presentando a la tecnología como una mediadora para la generación de conocimiento y de fomentar las habilidades sociales en los estudiantes, el modelo presentado mantiene la versatilidad presente en CollPad ante la posibilidad de ser aplicado en cualquier dominio. Para que esto ocurra, basta realizar la construcción de ejercicios según este esquema, asegurando la creación de roles.

Este nuevo modelo le agrega un objetivo secundario a la experiencia en la sala de clases: la colaboración. Dado que CollPad tiene en su corazón a la colaboración, este modelo usa a la tecnología para que se logre esta habilidad entre los alumnos. De esta manera, actividades que desarrollen este modelo a través de la tecnología tendrán alineada la tecnología con el objetivo de la clase, pues se estará buscando desarrollar ejercicios a través de la colaboración. De esta manera, se aplican las lecciones de la experiencia AAG.

Así, queda respondida la primera pregunta de investigación³, lo que abre camino para poder responder la segunda pregunta realizada. Para ello, el modelo recién presentado se implementó mediante el desarrollo de una nueva aplicación tecnológica. El objetivo de dicho software fue poder medir en base a resultados empíricos el impacto del modelo CollPad 2 sobre el aprendizaje de contenidos curriculares.

³ Esta era: ¿Es posible generar un *scaffold* de ejercicios para que sean desarrollados en clases de manera colaborativa?

Tabla 2-1: Cómo las condiciones de colaboración son satisfechas por CollPad 2.

Condición	Cumplimiento
Meta común	Todos los estudiantes reciben el mismo enunciado y todos deben llevar a cabo la misma operación.
Mismo premio y castigo	Todos trabajan con el mismo propósito y reciben el mismo <i>feedback</i> . Al final del ejercicio el grupo entero lo tiene bueno o malo. La recompensa común es lograr que el grupo tenga el ejercicio correcto.
Tomar conciencia	Antes de comenzar la fase grupal, los alumnos pueden ver el trabajo individual de sus pares. En la fase grupal, el trabajo ajeno se ve en tiempo real al trabajar simultáneamente en un espacio común. Es decir, viene dado porque la dinámica misma implica colaboración simultánea sobre un espacio de trabajo compartido.
Apoyo entre compañeros	Se trabaja con proximidad física y las instrucciones de la dinámica instan a los niños a interactuar. Así, cuando un niño tiene problemas, los demás pueden conversar cara a cara con él. Además, los profesores velarán para que esto se cumpla y para que los niños no manipulen los dispositivos de sus compañeros.
Responsabilidad individual	Cada integrante tiene un identificador único dentro de su respuesta grupal. Es decir, su desarrollo podrá ser identificable bajo un código predefinido (en particular, podría ser que cada acción de un individuo quede representada por un color pre-asignado a este) tanto por él como por sus compañeros.
Interdependencia positiva	La creación de roles permite que cada integrante del grupo deba participar activamente en la respuesta grupal. Así, deben participar con el resto de los compañeros para desarrollar su respuesta. Sin una participación activa de un integrante dentro del grupo, hay un rol que no se estaría cumpliendo y, por lo tanto, no será posible llevar a cabo la tarea asignada.
Coordinación y comunicación	Para poder desarrollar la tarea enunciada, los estudiantes deben trabajar en conjunto y coordinar sus acciones. Esto sale natural de la creación de roles en la respuesta. Estos roles hace que sus respuestas estén conectadas y que estos se tengan que comunicar y coordinar para llevar a cabo la respuesta.

3 LA CREACIÓN DEL SOFTWARE DE COLLPAD 2

3.1 Adaptación del modelo al dominio de AAG

Como fue presentado en la sección 2.1, uno de los objetivos del presente documento es determinar si el valor de la tecnología en una clase orquestada como en la experiencia de AAG es la colaboración que ésta trae. Por ello, es necesario adaptarse al dominio que esta experiencia utiliza para que la comparación sea más natural.

Según las dimensiones medidas en AAG, al agregar tecnología como recurso no se genera un valor agregado. Sin embargo, esta afirmación fue realizada sin determinar la existencia de colaboración. Dado que una tecnología que aplique en ella el modelo pedagógico de CollPad 2 tendrá asegurada la colaboración en sus actividades, para analizar si en la colaboración ahora sí está el valor agregado, se utilizará el mismo dominio –geometría– utilizado en AAG. Es decir, al desarrollar el software que estructure el modelo pedagógico sobre la tecnología, se considerarán ejercicios de geometría en las actividades, debido a su relevancia en el currículum de enseñanza básica.

Hay diversos autores que enfatizan en la importancia del aprendizaje de geometría en la etapa escolar. En particular, el contenido de reflexión, traslación y rotación es transversal al estar directamente relacionado con otras áreas de las matemáticas y por el desarrollo de la percepción espacial y en el mundo real (Sherard, 1981; Lehrer & Chazan, 2012). Säljo (1999) destaca lo adecuado que es el dominio para aprovechar las oportunidades que las tecnologías digitales traen sobre la visualización e interacción. Además, la interacción directa con objetos geométricos permite visualizar en tiempo real los cambios hechos sobre los objetos (Olive, 2000). Así, la interacción permite facilitar la comprensión y generalización de propiedades geométricas.

3.1.1 Construcción de roles

Back (2012), en su tesis para optar al grado de magíster, propone un modelo de actividades que permite cubrir de manera completa el currículum de matemáticas con metodologías cooperativas y colaborativas. Diseñó un ejercicio colaborativo para cada objetivo específico que propone el marco curricular que define el Ministerio de Educación de Chile en los programas de estudio. Estas actividades procuran el cumplimiento de las condiciones de colaboración propuestas por Szewkis *et al.* (2011).

Así, el diseño de los ejercicios para el desarrollo tecnológico del modelo CollPad 2 se centra en la propuesta de ejercicios de Back (2012). Ella otorga tipos de ejercicios de desarrollo colaborativo enfocados en el currículum de matemáticas⁴.

De ella, entonces, se rescata la forma de realizar ejercicios que serán utilizados para la experiencia, al ya cumplir con las condiciones descritas en la sección 2.4.1 para lograr colaboración. El modelo a diseñar ya no contendrá la herramienta de dibujo libre en ella, como lo hacía la experiencia tecnológica de CollPad original. En cambio, consistirá en una paleta de elementos que los alumnos tendrán que seleccionar y arrastrar hacia el espacio de respuesta, para ubicarlo en el lugar que encuentre correcto. En inglés, este método de desarrollo es denominado *Drag & Drop*. Esto se realizó debido a la facilidad que esto permitiría para la construcción y generación de nuevos ejercicios dentro del dominio acotado con el que se trabaja. Así, fue necesario diseñar una paleta de elementos que abarque correctamente la variedad de respuestas que podrían llegar a tener cada uno de los ejercicios preconcebidos diseñados por Back. El diseñador de ejercicios, al generar nuevos problemas, podrá seleccionar de este abanico de elementos a aquellos que los alumnos podrán utilizar o no para

⁴ Si bien la investigación trata sobre un grupo de edad distinto al tratado en esta investigación, no es relevante, dado que lo rescatado como relevante para el proyecto son las dinámicas propuestas por ellas.

desarrollar su respuesta, haciendo así más fácil su trabajo. Además, la paleta debe cubrir de manera minimal las respuestas posibles de los ejercicios a incluir. Fue necesario, entonces, para cada uno de los ejercicios preconcebidos, demostrar que es posible dividir el subconjunto de elementos disponibles para cada ejercicio en 3 grupos de elementos. Esto con el fin de, al momento de construir los ejercicios, poder efectivamente distribuir los elementos entre los integrantes para lograr la creación de roles. Así, en una fase colaborativa, como cada estudiante es responsable de mover los elementos asignados a él/ella, y dado que el resto no puede afectar el movimiento directo de los elementos que no les corresponden, se logra que cada alumno tenga que participar para llegar a la respuesta correcta.

3.2 Diseño del software

La presente sección de esta tesis ilustrará la aplicación tecnológica desarrollada para estructurar el modelo pedagógico. El sistema fue desarrollado sobre la plataforma que se utilizó en el trabajo realizado en el capítulo 1 (AAG), y su arquitectura será detallada en el capítulo 4. Por lo mismo, se ilustrará las partes que se le agregaron al software desarrollado en AAG.

La aplicación fue pensada desde un principio para que ejecute de una manera sencilla y fiel el modelo presentado en el capítulo anterior, considerando cada una de sus etapas. Además, fue desarrollado pensando que cada uno de los miembros de la sala de clases tendrían un dispositivo Tablet con ellos: tanto los alumnos como el profesor.

3.2.1 Descripción del software

El sistema tiene principalmente 2 tipos de usuarios; ambos acceden a la aplicación a través del navegador web. Los tipos de usuarios son profesor y alumno.

Al iniciar la aplicación, a todos se les muestra la misma imagen, que les solicita ingresar el número de lista de cada uno, o bien un código especial dado al profesor. A continuación, se indicará lo que los alumnos pueden hacer en su *tablet*, para después indicar las cosas a las que tiene acceso el profesor.

3.2.1.1 Aplicación desde la perspectiva del alumno

Una vez que todos los alumnos ya han iniciado sesión, a cada alumno le aparecerá en pantalla el grupo al cual pertenece (asignado por el profesor o por el sistema). Con ellos desarrollarán todas las actividades de la sesión. La conexión entre esos tres *tablets* para el trabajo colaborativo ya está configurado desde la lógica del software. Luego, se les mostrará una pantalla que les indicará que deben esperar a que el profesor inicie la actividad a desarrollar. Este momento está destinado para distribuir a todos los alumnos en la sala de clases para que queden sentados con sus compañeros de grupo.

Una vez que el profesor autoriza el inicio de la actividad, la fase 0 y fase 1 en conjunto del modelo CollPad 2 ha comenzado. El profesor podría haber enunciado antes de manera general los problemas a tratar de manera vocal o enunciando la materia general sobre la que tratarán las actividades de la sesión (aislando la fase 0 general de la clase al resto de las fases). A cada uno de los alumnos les aparecerá la misma pantalla inicial, que se divide en tres secciones: un enunciado en la parte superior (A), un área de trabajo que va acorde al enunciado (B), y una serie de elementos con la capacidad de ser arrastrados con los cuales el alumno puede trabajar (C). Las Figuras 3-1 ejemplifican lo que pueden ver los alumnos de un grupo de trabajo para una actividad. En particular, la Figura 3-1(a) ilustra las secciones recién mencionadas.

Los alumnos, de forma individual, deberán arrastrar los elementos que cada uno considere necesarios para llevar a cabo el ejercicio, a la posición que cada uno encuentre correcta. Cabe destacar que, según el diseño del ejercicio, puede que no todos los elementos disponibles en la paleta de elementos sean necesarios. Si un alumno considera que ha terminado el ejercicio, indica que ha terminado

tocando el botón correspondiente. Al realizar esta acción, al alumno se le llevará a una nueva sección. Esta les permitirá ver todas las respuestas enviadas hasta el momento de su grupo.

(a) Encuentre las líneas de simetría del hexágono Fernando Alvarez - Grupo 1

A
B
C

(b) Encuentre las líneas de simetría del hexágono Yadhira Bauerle - Grupo 1

(c) Encuentre las líneas de simetría del hexágono Martina Campos - Grupo 1

Figuras 3-1: Vista de los alumnos al iniciar la actividad

La Figura 3-2 indica esta fase, instanciado para un alumno en particular. Una vez el alumno considere que ha analizado suficientemente las respuestas de sus compañeros, basta con tocar el botón que lo indica para iniciar la siguiente fase. Cabe destacar que un alumno no podrá indicar el deseo de iniciar la próxima fase hasta que las tres respuestas de un grupo hayan sido enviadas; y que la próxima fase no podrá iniciar hasta que los tres alumnos hayan indicado su estado “Listo”.

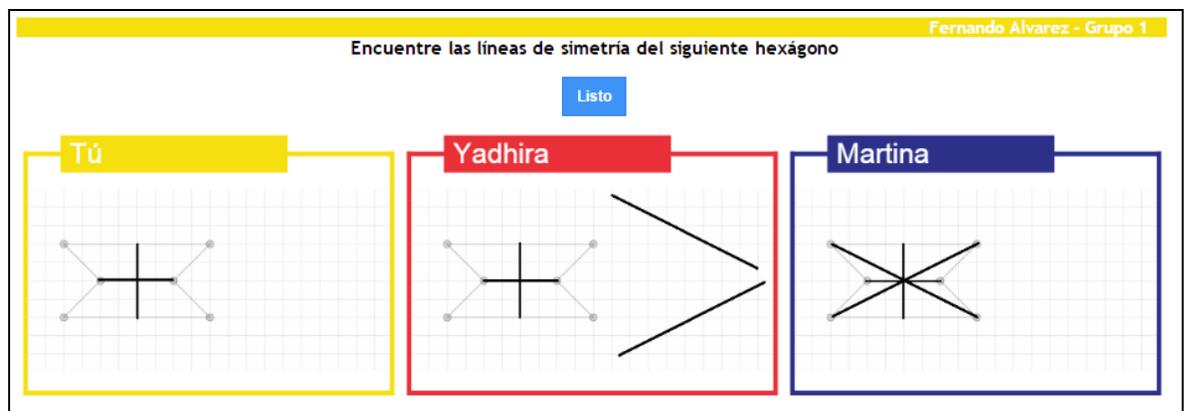


Figura 3-2: Vista de los alumnos para ver las respuestas individuales de su grupo

Luego, comienza la actividad en donde se genera la colaboración, iniciando la fase 2 del modelo CollPad 2. En esta pantalla, los alumnos podrán observar una miniatura de las respuestas de la parte individual de su grupo en el inferior, y se les presentará el mismo problema de antes, con los mismos elementos para arrastrar y el mismo enunciado. Sin embargo, los elementos que antes podían mover todos los alumnos independiente e individualmente, ahora están divididos de tal manera de que un alumno sólo podrá mover un subconjunto no vacío de ellos. Por lo tanto, para llegar a la respuesta, los alumnos deben conversar y discutir la posición de cada uno de los elementos, y convencer a quien tiene la

posibilidad de moverlo. Se puede apreciar esta situación en que se inicia la actividad y un posible término de esta, en las Figuras 3-3 y Figura 3-4 respectivamente. Una vez que los tres alumnos indican que su parte del trabajo está lista, la actividad ha finalizado, se les avisa a los alumnos con un mensaje en su pantalla, y su continuación depende del profesor.

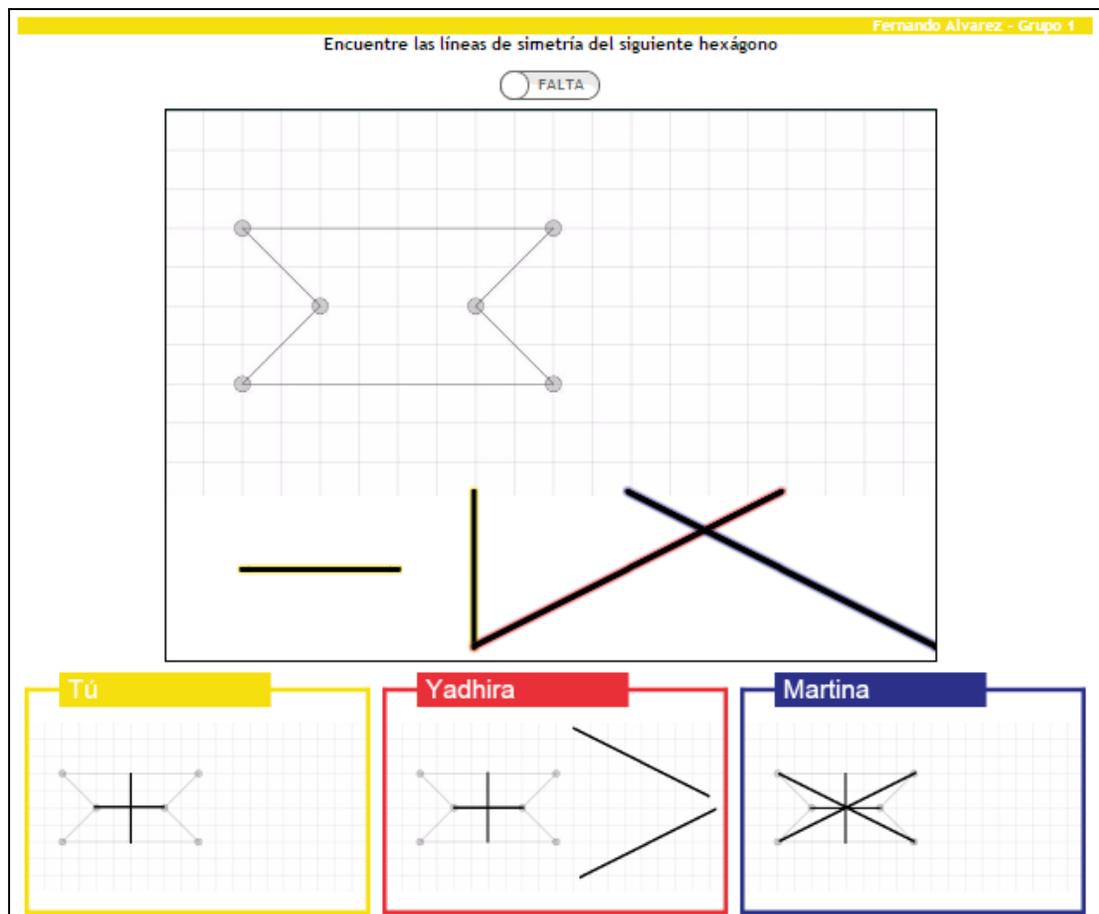


Figura 3-3: Vista del alumno amarillo al entrar a la fase colaborativa, al iniciar.

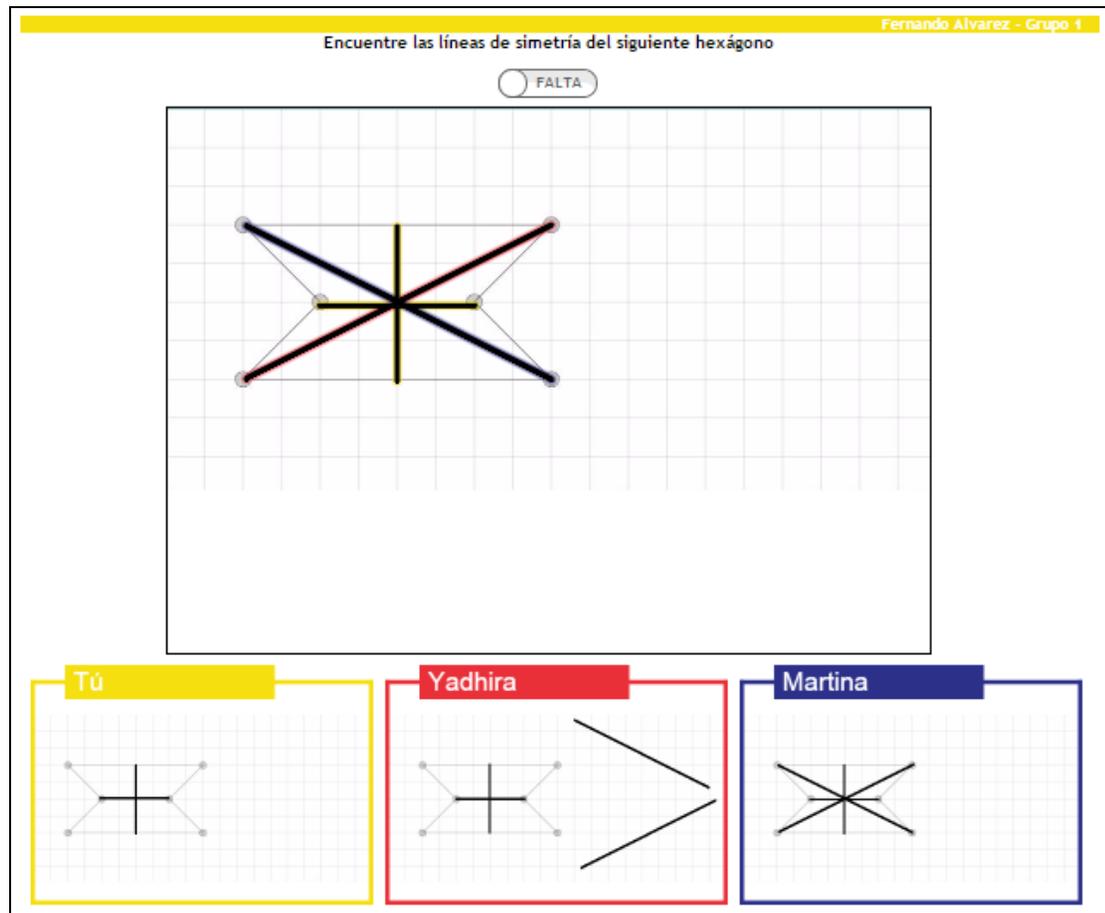


Figura 3-4: Vista del alumno amarillo con una respuesta posible en la fase colaborativa.

Una vez que los alumnos se encuentran trabajando, el profesor tiene una vista privilegiada sobre el trabajo de sus alumnos. Él puede escoger un grupo en particular y ver la respuesta en tiempo real que está desarrollando cada integrante. Así, puede analizar cómo se están desarrollando sus alumnos en la fase individual de trabajo, o también el desempeño grupal en la fase colaborativa. Así, podrá determinar qué tanto avance existe en la actividad, y si existe o no algún alumno o grupo al que le sea más complicado realizar el ejercicio. La imagen Figura 3-5 presenta la vista del profesor para un grupo ejemplo mientras están trabajando en la fase colaborativa. En ella, se puede ver

en tiempo real la respuesta colaborativa, mientras que puede observar también la respuesta que dio cada alumno en su fase individual respectiva.

Actividad 1

[Volver](#)

Respuesta colaborativa

Fernando

Yadhira

Martina

Figura 3-5: Vista del profesor al seleccionar un grupo particular.

3.3 Restricciones sobre la utilización del software

Como la aplicación se encuentra desarrollada sobre una plataforma ya utilizada en trabajos anteriores, particularmente para AAG, esta presenta una serie de restricciones sobre su utilización, que se listan a continuación:

- Dado que la aplicación será utilizada en el aula durante un bloque horario del colegio, debe considerarse que:
 - Los colegios no necesariamente cuentan con el hardware para montar una red inalámbrica dedicada que tolere la carga del Sistema (hasta 40 usuarios simultáneos aproximadamente).
 - Los colegios no necesariamente cuentan con computadores que puedan ser servidores de la aplicación.
 - Los colegios no suelen contar con personal de soporte capacitado.

Por lo tanto, de utilizarse esta aplicación sobre cursos en un colegio, debe considerarse llevar todo el hardware necesario para montar el sistema, además de tener personal técnico habilitado para cualquier asistencia.

El sistema requiere rellenar una base de datos, previo a la experiencia, con la información relativa a los usuarios que utilizarán la aplicación en el aula (nombre y tipo de usuario, privilegios, identificador, etcétera).

3.4 Ejercicios preconcebidos

Si bien actualmente solo se desarrollaron los ejercicios ya mencionados para el dominio de geometría, la aplicación es adaptable a cualquier otro dominio que se desee agregar para futuros experimentos.

El software posee un directorio en que se encuentran todas las instrucciones, elementos de la paleta y áreas de trabajo. Todo esto es ajustable para un módulo de trabajo siguiendo una sintaxis JSON esquematizada. Así, cada entrada de un archivo JSON indicará, con sus etiquetas correspondientes, el enunciado del problema, la imagen a cargar como fondo de trabajo, y las imágenes a cargar

como elementos disponibles para arrastrar. Un ejemplo de esto puede apreciarse en el Anexo D.

4 INGENIERÍA DE SOFTWARE

La presente sección de esta tesis describe los componentes constitutivos de la plataforma desarrollada para CollPad 2, además de explicar cómo estos se encuentran articulados de tal forma de asegurar el funcionamiento correcto, eficiente y estable de la aplicación. Para ello, se presentan las tecnologías utilizadas y se explicitan las relaciones entre los distintos módulos con diagramas ilustrativos de los distintos componentes del sistema. Así, se busca detallar una visión de la arquitectura, tanto en componentes de hardware, como a nivel de plataforma de software, del sistema utilizado.

El software es una aplicación web que funciona sobre la base de diversas tecnologías afines. El sistema permite proveer al ambiente de red local de un servidor web para la ejecución de la aplicación a la cual accederán los clientes. En la práctica, esto implica que, sin necesidad de acceso a internet, se puede montar una red local donde los diferentes participantes de la sala de clases (alumnos y profesor) puedan interactuar entre sí de forma inalámbrica.

4.1 Definiciones

- **Servidor:** nombre que reciben tanto el computador como el programa computacional que brinda servicios solicitados por otro computador.
- **Cliente:** computador que solicita servicios a un servidor.
- **Servidor web:** servidor que provee de contenidos (usualmente páginas web) y servicios (como comunicación entre clientes) a sus clientes través de una red.
- **Aplicación web:** aplicación a la cual se accede a través de un browser o navegador web.
- **Node.js:** Entorno de desarrollo y ejecución de aplicaciones web del lado del servidor que permite proveer un servidor web desde la máquina en la cual se ejecuta. Está diseñado para tener una alta escalabilidad y baja sobrecarga.
- **Express:** librería para Node.js que provee un servidor web.

- **Socket.io:** librería que permite la comunicación entre clientes a través de un servidor web de Node.js.
 - **Foundation:** *framework* y colección de herramientas para facilitar el desarrollo del frontend de aplicaciones web, facilitando la vista y despliegue de éstas, así como su adaptación a distintas dimensiones de pantalla.
 - **HTML:** lenguaje de estructuración de contenidos predominante para el desarrollo de páginas web y otros contenidos accesibles desde un browser.
 - **SQLite:** sistema de gestión de bases de datos relacionales caracterizado por ejecutarse como parte misma del programa que lo usa (sin tener que correr un proceso adicional).
 - **CouchDB:** sistema de gestión de bases de datos caracterizado por utilizar un modelo no relacional (sin tablas ni relaciones), sino que un modelo de documentos que busca facilitar el uso y acceso a los datos a través de la web.
- Plugin:** componentes externos a un framework que extienden su funcionalidad.

4.2 Información general de la arquitectura

La aplicación⁵ está diseñada para su uso en el aula, y sus usuarios finales serán los estudiantes y profesores de esta. Específicamente, está orientada a fomentar el aprendizaje de contenidos escolares a través de la utilización de una plataforma en red que permita la sincronización entre los clientes, permitiendo así cumplir el objetivo de CollPad 2. Si bien los ejercicios preconcebidos son para geometría, el modelo mismo del software permite su extensión a través de *plugins* que podrían agregar nuevos contenidos al sistema, por ejemplo, de otras unidades o asignaturas.

Se utiliza un entorno de red local donde se monta un servidor web bajo Node.js en un computador (portátil o de escritorio) presente en la sala de clases, el cual

⁵ Nota: la arquitectura expuesta en esta sección fue utilizada para diferentes proyectos en los que se implementaron distintos tipos de actividades colaborativas. Partes o versiones de los contenidos de esta

va conectado a una red con router(s) que provee(n) acceso inalámbrico a todos los clientes en la sala.

A continuación, se detallan los diferentes componentes del sistema, tanto a nivel de hardware como plataforma de software, con un nivel de abstracción que facilite la visualización, comprensión y razonamiento sobre los elementos arquitectónicos más relevantes.

4.3 Vistas de la arquitectura

La especificación del sistema se ha dividido en las siguientes vistas:

- **Vista de componentes de hardware y red:** En esta vista se describen los elementos que conforman el sistema físico dentro del aula, así como la interacción entre estos para el correcto funcionamiento de la aplicación.
- **Vista lógica:** En esta vista se describe la lógica de funcionamiento de la aplicación, detallando los principales componentes de software de ésta.

4.3.1 Vista de componentes de hardware y red

En esta sección se describen los componentes más relevantes de la arquitectura del sistema a nivel de red, señalando además los dispositivos de hardware utilizados y sus interacciones entre estos, justificando el modelo en virtud del funcionamiento de la plataforma.

4.3.1.1 Descripción general

El sistema está pensado para ser ejecutado en un computador y posteriormente otorgar el control del flujo de la aplicación al profesor del curso, quien desde un *tablet* cliente dirigirá a los alumnos conectados al sistema a diferentes actividades.

Para implementar esto, la plataforma utiliza un modelo de cliente-servidor donde se considera el uso de un computador que ejecutará la aplicación y por el cual

pasarán todos los datos de todos los usuarios. Este computador servirá a todos los clientes de la sala de clases (alumnos y profesor) a través de una red de acceso inalámbrico. Esta composición se presenta en la

Figura 4-1.

El hardware utilizado para la aplicación consistió en un Tablet Android de 10’’ por alumno y profesor, todas estas conectadas a la red local.

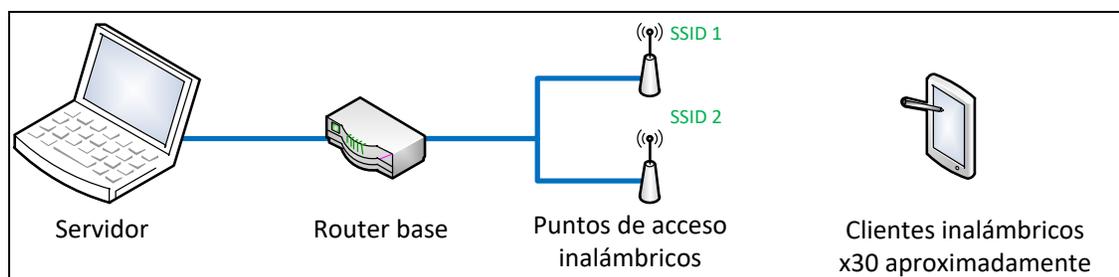


Figura 4-1: Vista general de la red del sistema

Los componentes de la red señalados en el diagrama son:

- **Servidor:** computador (portátil o de escritorio) en el cual está instalada la aplicación y el servidor web de Node.js. Este es el que controla el estado global de la aplicación, así como el equipo por el cual pasan todos los datos necesarios para mantener la consistencia del sistema. En la práctica, su uso en la sala de clases se limitará a ser encendido y dejar ejecutando la aplicación. No requerirá más interacción directa con el usuario.
- **Router base:** dispositivo que maneja la transferencia de paquetes entre los distintos dispositivos de la red. En este caso, permitirá la comunicación entre el servidor y los clientes conectados a los puntos de acceso inalámbricos. Debe notarse que, por estabilidad y velocidad de la red, debe estar conectado por cable al servidor. Nótese también, que algunos routers traen incluido un punto de acceso inalámbrico, pero por

motivos de generalidad en diseño de la red, conviene entenderlos como dispositivos diferentes.

- **Puntos de acceso inalámbricos:** dada la cantidad de dispositivos en la sala de clases, para un óptimo funcionamiento de las aplicaciones, se requieren al menos dos dispositivos que otorguen acceso a la red inalámbrica, disminuyendo la interferencia entre los clientes. Esto implica que cada uno de ellos emitirá un SSID (nombre de red inalámbrica) diferente, pero que ambos van conectados a la misma red, la cual es administrada por el router base al cual van conectados por cable.
- **Clientes inalámbricos:** son los alumnos y el profesor que acceden a alguno de los puntos de acceso inalámbricos a la red. Es importante notar que, en este nivel de abstracción, no existe diferencia entre cliente profesor y clientes alumnos: usan el mismo tipo de dispositivo y van conectados a la misma red. La diferencia entre tipos de usuario se da a la hora que interactúan con la aplicación misma.

4.3.1.2 Funcionamiento

El diseño de la red permite comunicación tanto síncrona como asíncrona de los clientes para permitir el traspaso de archivos (necesarios para las páginas web) y mensajes a través de una red que no requiere acceso a internet.

Si bien existe una configuración inicial que implica, entre otras cosas, instalar la aplicación en el servidor y fijar parámetros en el router, no es necesario cambiar parámetros del sistema cada vez que se arme el ambiente en el aula. Desde esta perspectiva, puede entenderse que la red se puede usar de manera *plug & play*.

4.3.2 Vista lógica

En esta sección se explica el modelo lógico del sistema, con énfasis en la arquitectura de software diseñada para la implementación del mismo.

Particularmente, se detalla en qué consiste cada una de las capas del sistema, y cómo se relacionan estas entre sí.

4.3.2.1 Descripción general

La aplicación desarrollada para el modelo de CollPad 2 requiere de dos tipos de usuario: profesor y alumnos, siendo ambos clientes del sistema. Mientras que el profesor controla el flujo de la aplicación determinando las actividades que se ejecutarán, los alumnos realizan actividades síncronas en grupos de a tres alumnos (Figura 4-2).

Dado que es una aplicación web, todos los contenidos, base de datos, así como la lógica de la aplicación viven en un servidor al cual los clientes acceden a través de una red dedicada al sistema. El siguiente diagrama ilustra la configuración de la sala de clases bajo este sistema.

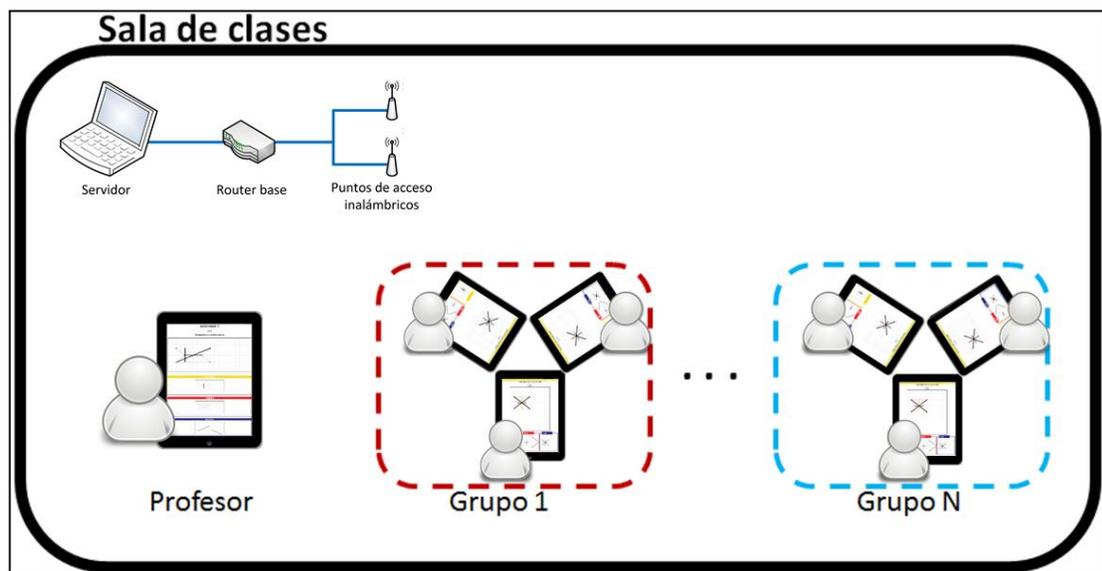


Figura 4-2: Ambiente con grupos en el aula

De esta forma, el servidor se encuentra precargado con actividades pensadas para ser resueltas en grupos de 2 a 3 alumnos, y también cuenta con los números de lista de cada alumno, necesarios para acceder a la plataforma.

4.3.2.2 Arquitectura de software

La aplicación desarrollada se divide principalmente en dos conjuntos: Aplicación web o backend, y frontend. La arquitectura utilizada permite al sistema agregar nuevas dinámicas o nuevos tipos de ejercicios al problema, ya que permite el agregado de nuevos *plugins*.

La Figura 4-3 representa como diagrama la arquitectura usada en la aplicación, la que será detallada a continuación.

4.3.2.2.1 Flujo de la aplicación web

La aplicación se ejecuta sobre un entorno Node.js con un servidor Express. Este expone inicialmente a los clientes una página de *login*. Los datos de *login* se almacenan en una base de datos SQLite, donde cada usuario está previamente cargado con un ID único. Una vez realizado iniciado sesión, se redirige al cliente a la página que les corresponde (según si es cliente alumno o cliente profesor).

Desde su respectiva página, el profesor puede elegir el inicio de una actividad para todos los alumnos. Al hacerlo, el controlador de Socket.io en el dispositivo del profesor (librería en JavaScript) del lado del cliente notifica al módulo Socket.io del lado del servidor, el cual propaga dicha notificación a toda la red, gatillando un cambio de página en los clientes, a la actividad respectiva.

Cada actividad se compone de diferentes niveles o ejercicios, los cuales están representados por parámetros específicos a la actividad. Todos esos parámetros están almacenados como JSON en una base de datos Couch. Cuando el profesor gatilla el inicio de un nuevo ejercicio, se envían los parámetros de éste a todos los alumnos. Dichos parámetros son interpretados por el *plugin* de la actividad en los clientes, desplegando así el ejercicio en cuestión. La parte central de cada *plugin* es un controlador en JavaScript que utiliza la librería Socket.io del lado del cliente. Gracias a esto, es posible establecer una comunicación en tiempo real entre los clientes. Específicamente, esto permite que los alumnos puedan ver en

tiempo real la interacción de sus compañeros con la aplicación, teniendo cada grupo un único espacio virtual de trabajo.

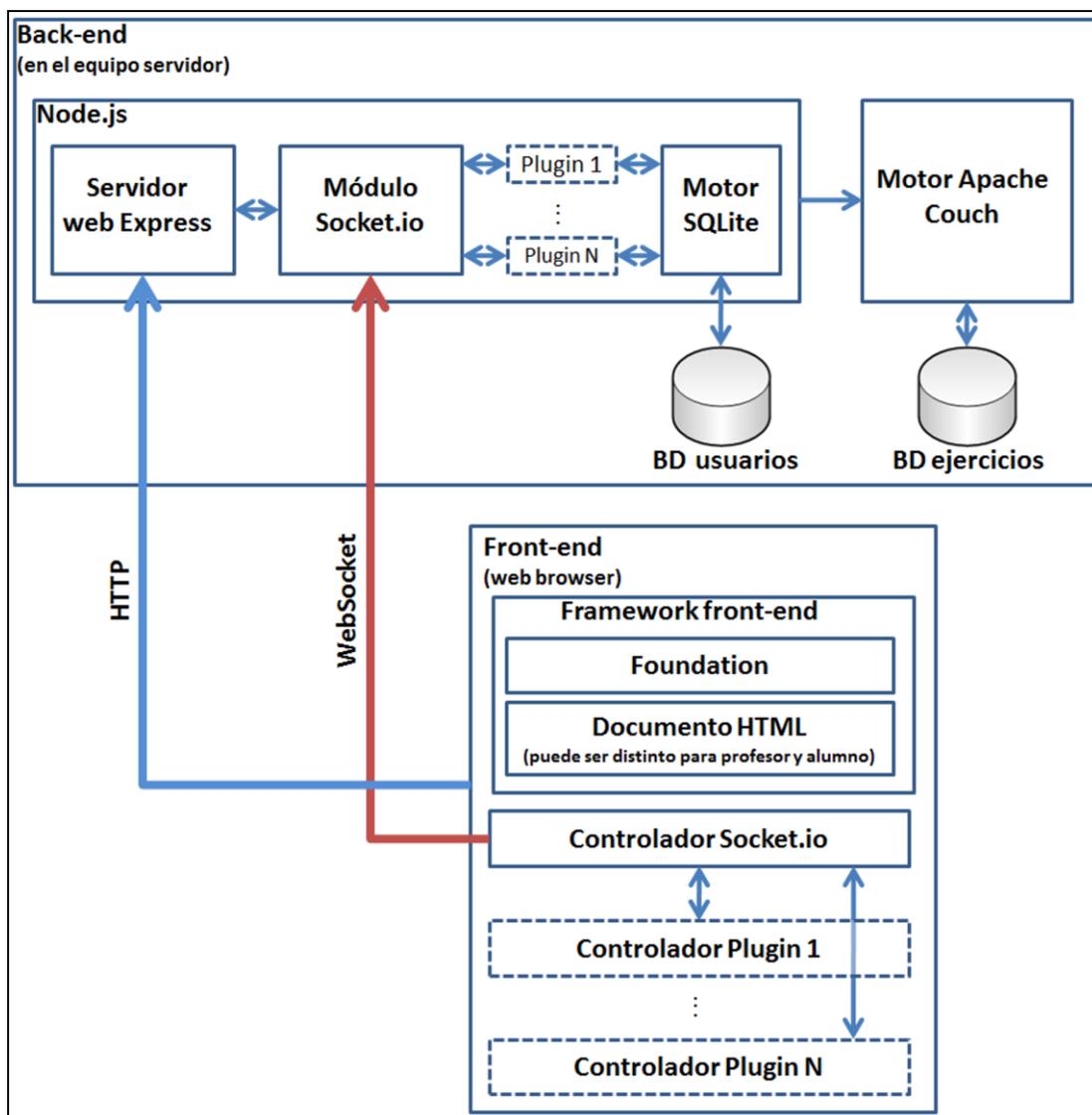


Figura 4-3: Diagrama de la arquitectura de software usada.

Así, cada uno de los *plugins* consiste en un conjunto de archivos con un formato dado, los cuales deben incluir la lógica del servidor y de clientes (controladores) en JavaScript más las respectivas vistas en HTML. Mientras que la lógica del servidor se encarga de mantener el estado global de la aplicación, además de

enviar mensajes entre clientes, la lógica del cliente se encarga de aplicar sobre el documento HTML las acciones necesarias para desplegar el estado de la aplicación, el cual va cambiando constantemente según los usuarios interactúan con ésta.

4.3.2.2.2 Frontend

Lo primero a mencionar es recalcar que el trabajo de esta tesis no desarrolló toda la plataforma, si no que extendió el software del experimento mencionado en el capítulo 1, permitiendo el uso de *plugins* y utilizando *plugins* nuevos en lugar de las actividades de dicho experimento. Por lo mismo, dado que muchas de las tecnologías presentes en la aplicación son ligadas, no se entrará en tanto detalle al respecto.

Tanto antes de entrar a una actividad, como al entrar a una de estas, se utilizaron diferentes herramientas del lado del cliente, cuya función se detalla a continuación:

- Foundation otorga *responsiveness*⁶, además de incluir diferentes controles para facilitar un mejor despliegue de la página en diferentes pantallas. Esto se usa principalmente fuera de las actividades, en las pantallas del profesor, permitiéndole acceder a la aplicación desde diferentes dispositivos (por ejemplo, el profesor podría usar el mismo computador del servidor, o tal vez un Tablet de diferente tamaño al de los alumnos).
- El controlador Socket.io permite que los *plugins* puedan enviar mensajes a otros usuarios, los cuales a su vez gatillan acciones que pueden modificar el estado de una actividad. Por ejemplo, si un alumno arrastra un objeto en su pantalla, su *plugin* utilizará el controlador Socket.io para notificar al servidor las nuevas coordenadas del objeto.

⁶ *Responsiveness* es la cualidad que tendría una aplicación al tener la capacidad de adaptarse visualmente a cualquier tamaño de pantalla.

- Cada uno de los N controladores permitirían ampliar el dominio del problema en cuestión. Cada *plugin* tendría una lógica del lado servidor y una de lado cliente. En el caso particular de esta tesis, solo se utilizó un *plugin* que es la implementación de la dinámica descrita en el capítulo 3.

4.4 Restricciones de la arquitectura para nuevos *plugins*

- Las actividades que se deseen agregar al sistema deben estar implementadas como *plugins* que cumplan con los requisitos de la extensibilidad y capacidad de poder integrar y configurar actividades adicionales de este.
- El contenido de los ejercicios de las distintas actividades debe guardarse en una base de datos. De esta manera, se facilita la creación y almacenaje de ejercicios nuevos y se permite a las actividades funcionar sin tener que conocer a priori el valor exacto de los parámetros de los ejercicios que se ejecutarán. Este debe seguir la estructura definida en formato JSON, y deben ser ejercicios en que los elementos sean capaces de ser arrastrados a una zona de trabajo.

5 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

5.1 Diseño del experimento e instrumentos

Con el fin de responder la pregunta de investigación “¿cuál es el impacto de la utilización de una tecnología que represente este modelo sobre el aprendizaje ante una clase orquestada, comparándola con una clase orquestada en ausencia de tecnología?”, se planteó el diseño experimental que se presentará en esta sección. Para poder contestar la pregunta, se trabajó con 2 grupos independientes de manera aleatoria. Un curso (experimental) trabajó en base a una orquestación que incluía el uso de tecnología digital para desarrollo de ejercicios preconcebidos para trabajar colaborativamente, mientras que otro curso (control) trabajó con actividades de ejercitación en lápiz y papel de equivalente dificultad teórica. Cabe mencionar que, de forma complementaria, hubo una tesis de magíster paralela que utilizó un tercer curso de forma simultánea, para medir argumentación, pero que no afecta el análisis presente.

Ambos grupos de interés trabajaron durante toda la experiencia con el mismo profesor respectivo. Cabe destacar el soporte permanente en la tecnología brindado por un encargado definido por el equipo de investigación. Para ambos grupos, la duración de la experiencia fue de 6 semanas, correspondientes a 10 sesiones de actividades (dos semanales). De manera previa y posterior, se realizó una prueba pre y post para medir el impacto en el aprendizaje de la tecnología. Así, en total se visitó 12 veces a cada uno de los cursos.

De esta manera, la diferencia en los resultados entre la prueba pre y post permitió determinar si hubo o no aprendizaje en ambos grupos (en particular, en el con tecnología colaborativa), mientras que la diferencia entre el avance de ambos grupos permitió determinar el impacto de la tecnología colaborativa.

Las pruebas pre y post utilizadas son las mismas utilizadas para la experiencia en el capítulo 1, dado que ya estaba validado por profesores de matemáticas. Esto se

hizo con el fin de medir aprendizaje y detectar diferencias entre los grupos de estudio.

5.2 Participantes

El experimento del estudio fue realizado con 61 alumnos de 4° básico entre 9 y 11 años del colegio El Sembrador, de Santiago de Chile. El detalle se expone en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Cantidad y distribución de alumnos participantes

	Sin Tecnología	Con Tecnología	Total
Total en el curso	29	32	61
Hombres	13	12	25
Mujeres	14	17	31
Alumnos considerados	27	29	56

De la tabla se puede apreciar una disminución en la cantidad de alumnos que rindieron ambos tests y participaron de las sesiones de experimentación con respecto al total de alumnos del curso. Esta reducción está explicada por la ausencia algunos alumnos en cada curso el día de la rendición de alguno de los tests.

5.3 Resultados y análisis

A continuación, se presentan los resultados obtenidos una vez finalizado el experimento. Estos se construyeron a partir de los datos obtenidos sobre las pruebas pre y post. Se realizó un análisis de los datos mediante estadísticos descriptivos (media, desviación estándar y varianza), un análisis de prueba-t pareada, y el test de análisis de la covarianza, ANCOVA.

El Alfa de Cronbach de la muestra total para los pre y post test realizados fue $\alpha = 0,6356$ y $\alpha = 0,7093$ respectivamente. Eso permite garantizar nuevamente la validez interna de los instrumentos utilizados, pues un valor superior a 0,6

supone un test aceptable para clasificar a los estudiantes en base a los contenidos vistos (Bland & Altman, 1997).

La Tabla 5-2 a continuación muestra los indicadores estadísticos de los resultados para cada uno de los dos grupos por separado.

Tabla 5-2: Estadísticos descriptivos de los resultados

Grupo	Pre				Post				Incremento mejora (Δ)
	Media	Mediana	Moda	DE	Media	Mediana	Moda	DE	
Control	13,48	13	13	3,20	15,04	15	19	3,06	7,78%
Experimental	12,48	12	11	2,86	14,66	14	16	3,27	10,86%

De esta información, es relevante destacar tanto para la pre prueba como para la post prueba, el grupo control se presentó con mejor desempeño en la cantidad de respuestas correctas obtenidas promedio. En particular, el grupo control mostró un desempeño un 8,00% superior en la pre prueba, mientras que en la post prueba obtuvo una superioridad esta vez de un 2,61% frente al experimental.

Por otro lado, si se analiza el avance que obtuvieron ambos grupos, se puede notar que ambos grupos efectivamente tuvieron un aumento en la cantidad de respuestas positivas, aunque la diferencia entre pre y post es superior en el grupo con tecnología ($\Delta = 10,86\%$) que en el control ($\Delta = 7,78\%$).

Para analizar si esa diferencia es significativa, se estudió ese impacto en el aprendizaje de manera estadística. Para ello, se realizó un test-t pareado ante las diferencias entre las pruebas pre y post. Se verificó la normalidad para los datos a utilizar para esta prueba estadística, analizando los histogramas y mediante la aplicación del test de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965). Además, se analizó la homogeneidad de las varianzas de los datos (Box, Hunter & Hunter, 1978). Los resultados de las verificaciones (Anexo A) indican que los datos utilizados cumplen la normalidad y la homogeneidad de las varianzas para poder realizar la prueba-t. Los resultados de la prueba-t se presentan en la Tabla 5-3..

Los resultados expuestos permiten observar que ambos grupos presentaron una mejora estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en los resultados luego de la experiencia. El tamaño del efecto para ambos casos se considera moderado, según Cohen (1987).

Tabla 5-3: Prueba-t para Posttest – Pretest por grupo

	Diferencias Pareadas (Posttest - Pretest)								
	Promedio	Desviación Estándar	Error estándar de la media	IC al 95%		Valor T	g.l.	Valor p	d de Cohen
				Cota Inferior	Cota Superior				
Control	1,56	2,42	0,466	0,6	2,51	3,34	26	0,003	0,506
Experimental	2,17	2,42	0,45	1,25	3,09	4,83	28	<0,001	0,720

Para determinar, ahora, el impacto del aprendizaje después de la intervención se realizó un análisis de covarianza de un factor (ANCOVA). Así, se permite detectar si los post-tests son estadísticamente diferentes entre los dos grupos, controlado por el puntaje del pre-test. Para esto, se considera a la variable independiente como el grupo (control o experimental), la variable dependiente el resultado del post-test y la covariable el pre-test (que indica qué tan bueno era cada alumno antes del experimento). El ANCOVA ajusta linealmente el post-test según el pre-test.

Se verificó que la variable independiente y la covariable son independientes entre sí, pues se ve alumno por alumno, y que no existe interacción entre la variable independiente y la covariable (test ANOVA para ello indicó $F(1,52)=0,354$; $p=0,554 > 0,05$). Además, el supuesto de homocedasticidad del ANCOVA (homogeneidad de las varianzas) fue evaluado mediante el test de Levene ($F(1,54) = 0,1243$; $p=0,7258$), indicando que las varianzas de las pruebas post son homogéneas ($p > 0,05$). También fue analizado el supuesto de homogeneidad de las pendientes de las regresiones. Para verificar la normalidad de los datos, se realizó el test de Shapiro-Wilk. El valor p de este test para la

prueba post es 0,0736 para los datos de ambos grupos combinados (resto de los valores en Anexo A). Dado que todos los valores-p son mayores a 0,05, la distribución de los datos se considera normal. Por último, cabe destacar que existe una correlación entre los datos de las pruebas pre y post de ambos grupos, al resultar ser de un 0,695. Considerando lo anterior, el ANCOVA es válido realizarlo.

El resultado del ANCOVA no mostró una diferencia significativa entre los puntajes del post-test de ambos grupos al controlar por el puntaje del pre-test ($F(1,53)=0,30447$, $p=0,58341$). De esta manera, se puede determinar que no existe evidencia para afirmar que la diferencia entre el aprendizaje de ambos grupos sea significativa ($p>0,1$).

6 CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 Conclusión

En el presente trabajo se expuso el desarrollo de una experiencia con el fin de validar la pregunta de investigación en torno al aprendizaje de habilidades matemáticas en el área de geometría, comparando grupos orquestados con y sin tecnología colaborativa. Dado que la primera pregunta de investigación fue respondida en el capítulo 2 con el modelo CollPad 2, la pregunta remanente fue “¿cuál es el impacto de la utilización de una tecnología que represente un modelo que permita realizar ejercicios colaborativos en tecnología sobre el aprendizaje ante una clase orquestada, al ser esta comparada con una clase orquestada en ausencia de una tecnología de dichas características?”. Para ello se consideró la tecnología utilizada en la experiencia explicada en el primer capítulo de esta tesis. A partir de ella, ciertas modificaciones fueron realizadas para adaptar adecuadamente un nuevo modelo pedagógico creado para el experimento de tesis presentado en el capítulo 2. El modelo fue diseñado, trabajado y, luego, desarrollado tecnológicamente para ser implementado en una clase orquestada, asegurando las condiciones de colaboración enlistadas por Szewkis *et al.* (2011) y Caballero *et al.* (2014). Si bien el experimento realizado permitió establecer la ocurrencia de aprendizaje estadísticamente significativo en ambos grupos tras la experiencia, no fue posible detectar un avance significativamente mayor en el grupo experimental que en el grupo control.

En línea con lo ya planteado en la experiencia presentada en el capítulo 1 y retomada en el capítulo 2, esto aporta nueva evidencia de que la integración de la tecnología como recurso en la orquestación no es suficientemente significativo para hacer la diferencia en el aprendizaje curricular. A pesar de haber eliminado el feedback automatizado, de haber cubierto el currículum de matemáticas con ejercicios preconcebidos aplicados a través de un modelo pedagógico que

cumple las condiciones de colaboración, y de haber hecho que la tecnología se alinea con el objetivo (al nacer un objetivo secundario que es la colaboración), no es posible garantizar que la inclusión de tecnología colaborativa como recurso en una orquestación favorezca el aprendizaje más que una sin tecnología colaborativa. En otras palabras, la ausencia de diferencia significativa del aprendizaje entre los grupos control y experimento de AAG no pudo ser cubierta por un nuevo modelo pedagógico que cumpla las condiciones de colaboración que es CollPad 2. Así, uno puede concluir que hay algo más que debería existir en la tecnología para que pueda aportar valor a la orquestación.

De todas formas, en esta nueva experiencia, el valor de la tecnología era el elemento colaborativo, y no se midió su avance en el experimento diseñado. Esto queda como trabajo futuro.

Así, el grupo experimental de la experiencia de esta tesis obtuvo los mismos resultados con respecto a su control, como ocurrió también en el experimento citado en el primer capítulo. Por lo tanto, los principales aprendizajes de la presente experiencia fueron:

- Nussbaum y Díaz (2013) indican que una orquestación adecuada ayuda a guiar al profesor en el trabajo a realizar en la sala de clases. Esto permite cambiar la perspectiva desde una centrada en el instructor, a otra centrada en que los estudiantes participen activamente. Dado que se percibió un aprendizaje de contenidos de geometría, esta tesis refuerza la idea de que la tecnología incluida con una orquestación, incluso si no es más efectiva que actividades en lápiz y papel, no empeora la clase, lo cual es un logro importante considerando que la tecnología puede ser una fuente de ruido en el aula. Así, es importante la consideración de los modelos pedagógicos utilizados durante ejercicios en clases que estén en línea a lo planificado por el docente, para así, alinear el uso de todos los recursos disponibles por parte de este con el objetivo de la clase.

- La nueva evidencia presentada hace tener siempre presente que debe tenerse cuidado al ingresar tecnología en alguna actividad de aprendizaje sin un propósito claro. Esta nueva evidencia sugiere que una correcta orquestación puede ser igual de valiosa con o sin uso de actividades tecnológicas, lo que es consistente con la hipótesis de Toyama (2011, 2014) de la tecnología como amplificadora de valor y no como una fuente de valor en sí; además de estar en línea con la experiencia del primer capítulo.
- Existen algunos trabajos que mencionan un exitoso logro del uso de tecnología en entornos pedagógicos (Nussbaum & Díaz, 2015; Luzón et al., 2015; Kong, 2015). Sin embargo, tras esta experiencia cabe cuestionarse si ese logro se debió realmente al uso de la tecnología o al modelo pedagógico subyacente de la experiencia (Drijvers, Doorman, Boon, Reed & Gravemeijer, 2010; Díaz, Nussbaum, Ñopo, Maldonado, & Corredor, 2015).

Con todo esto en mente, esta experiencia valida lo planteado en el artículo del capítulo 1. Antes de introducir la tecnología hay que tener presente el objetivo de la experiencia. De otra manera, la tecnología podría no aportar valor adicional - como lo fue en el caso presente-, o bien podría perjudicar al aprendizaje de los alumnos.

6.2 Limitaciones presentes

No obstante, existen limitaciones que hay que considerar sobre el trabajo actual:

1. La experiencia desarrollada para esta tesis incluye solamente el dominio de geometría para la materia de matemáticas. Al ser un dominio acotado (aunque importante), no es posible generalizar la conclusión sacada a cualquier dominio y, de hecho, puede que surjan diferencias significativas al aplicar tecnología utilizando el modelo CollPad 2 ante otra materia.

2. Una vez con los resultados en mano, se hubiera querido analizar el avance en colaboración logrado por los estudiantes. Sin embargo, en esta experiencia se utilizó solamente un instrumento de medición, que midió únicamente logro en el aprendizaje. Así, a pesar de tratar con un modelo que incluye colaboración, esta característica no fue evaluada y no se pudo realizar conclusiones al respecto.
3. La muestra utilizada para realizar el análisis estadístico correspondió a 56 alumnos. Así, puede que una muestra más grande sí permita encontrar diferencias significativas entre ambos grupos.

6.3 Trabajos futuros

Este trabajo consiste en un avance en el área de comparación del valor obtenido al usar tecnología en entornos orquestados, versus el uso de orquestación en entornos sin tecnología. Sin embargo, se puede seguir investigando alguno de los siguientes trabajos sugeridos:

1. Realizar una experiencia similar a esta, abarcando y desafiando las limitaciones recién expuestas. Se podrían haber agregado otros instrumentos como un estudio de logs de comportamiento, o algunos más cualitativos para analizar otras aristas presentes. De esta manera, se podrían apreciar elementos de colaboración existentes en la experiencia, similar al trabajo de Caballero *et al.* (2014), para alcanzar conclusiones acerca de cómo se lleva a cabo la colaboración en la experiencia, además de medir la mejora en las habilidades de colaboración de los alumnos.
2. Desarrollar un modelo de condiciones similar al de Szewkis *et al.* (2011) y Caballero *et al.* (2014) aplicado sobre la tecnología, que considere a priori en qué actividades específicas esta puede ser un aporte significativo. Por ejemplo, la tecnología evita competencia y confrontaciones por objetos físicos (Zurita, Nussbaum & Shaples, 2003). De esta manera, al diseñar

futuros modelos pedagógicos o actividades con tecnología, se podría asegurar que estos aportes se están cumpliendo.

3. Desarrollar un *scaffold* o un modelo pedagógico que permita evaluar otras habilidades del siglo XXI, como además lo son el pensamiento crítico o habilidades ICT. De esta manera, es posible comprender en más dimensiones el impacto de la tecnología en el aprendizaje más allá del ámbito curricular.

BIBLIOGRAFÍA

Alcoholado, C., Diaz, A., Tagle, A., Nussbaum, M., & Infante, C. (2014). Comparing the use of the interpersonal computer, personal computer and pen-and-paper when solving arithmetic exercises. *British Journal of Educational Technology*.

Aldunate, R., & Nussbaum, M. (2013). Teacher adoption of technology. *Computers in Human Behavior*, 29(3), 519-524.

Alvarez, C., Salavati, S., Nussbaum, M., & Milrad, M. (2013). Collboard: Fostering new media literacies in the classroom through collaborative problem solving supported by digital pens and interactive whiteboards. *Computers & Education*, 63, 368-379.

Arzarello, F., Olivero, F., Paola, D., & Robutti, O. (2002). A cognitive analysis of dragging practises in Cabri environments. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 34(3), 66-72.

Axelrod, R. M. (2006). *The evolution of cooperation*. Basic books.

Back, D. (2012, Diciembre). *Modelo para la generación de actividades cooperativas y colaborativas para grupos pequeños* (Tesis de Magíster, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile).

Bilbao, A., & Salinas, A. (2010). El libro abierto de la informática educativa. Lecciones y desafíos de la Red Enlaces. *Santiago: Enlaces, Centro de Educación y Tecnología del Ministerio de Educación*.

Bland, J. M., & Altman, D. G. (1997). Cronbach's alpha. *BMJ: British Medical Journal*, 314(7080), 572.

Bonnard, Q., Verma, H., Kaplan, F., & Dillenbourg, P. (2012). Paper interfaces for learning geometry. In *21st Century Learning for 21st Century Skills* (pp. 37-50). Springer Berlin Heidelberg.

Box, G. E., Hunter, W. G., & Hunter, J. S. (1978). *Statistics for experimenters*.

Caballero, D., Van Riesen, S. A., Álvarez, S., Nussbaum, M., De Jong, T., & Alario-Hoyos, C. (2014). The effects of whole-class interactive instruction with single display groupware for triangles. *Computers & Education*, 70, 203-211.

Chan, T. W., Roschelle, J., Hsi, S., Kinshuk, Sharples, M., Brown, T., ... & Soloway, E. (2006). One-to-one technology-enhanced learning: An opportunity for global

research collaboration. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 1(01), 3-29.

Chen, F. H., Looi, C. K., & Chen, W. (2009). Integrating technology in the classroom: a visual conceptualization of teachers' knowledge, goals and beliefs. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(5), 470-488.

Cheung, A. C., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 9, 88-113.

Chounta, I. A., & Avouris, N. (2016). Towards the real-time evaluation of collaborative activities: Integration of an automatic rater of collaboration quality in the classroom from the teacher's perspective. *Education and Information Technologies*, 21(4), 815-835.

Claro, M., Nussbaum, M., López, X., & Díaz, A. (2013). Introducing 1 to 1 in the classroom: A large-scale experience in Chile. *Educational Technology & Society*, 16(3), 315-328. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.16.3.315>

Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Academic press.

Crook, C. (1996). *Computers and the collaborative experience of learning*. Psychology Press.

Debusse, J. C., & Lawley, M. (2016). Benefits and drawbacks of computer-based assessment and feedback systems: Student and educator perspectives. *British Journal of Educational Technology*, 47(2), 294-301.

Díaz, A., Nussbaum, M., Ñopo, H., Maldonado-Carreño, C., & Corredor, J. (2015). Orchestration: Providing Teachers with Scaffolding to Address Curriculum Standards and Students' Pace of Learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 18(3), 226-239.

Díaz, A., Nussbaum, M., & Varela, I. (2015). Orchestrating the XO computer with digital and conventional resources to teach mathematics. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(3), 202-219.

Dillenbourg, P. (2013). Design for classroom orchestration. *Computers & Education*, 69, 485-492.

Dillenbourg, P. (2002). Over-scripting CSCL: The risks of blending collaborative learning with instructional design. *Three worlds of CSCL. Can we support CSCL?*, 61-91.

Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by collaborative learning?. *Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches.*, 1-19.

Dillenbourg, P., & Evans, M. (2011). Interactive tabletops in education. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 6(4), 491-514.

Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., Reed, H., & Gravemeijer, K. (2010). The teacher and the tool: instrumental orchestrations in the technology-rich mathematics classroom. *Educational Studies in mathematics*, 75(2), 213-234.

Gijlers, H., Saab, N., Van Joolingen, W. R., De Jong, T., & Hout-Wolters, V. (2009). Interaction between tool and talk: how instruction and tools support consensus building in collaborative inquiry-learning environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(3), 252-267.

Gokhale, A. A. (1995). Collaborative learning enhances critical thinking.

Goldenberg, E. P., & Cuoco, A. (1998). What is dynamic geometry. Designing learning environments for developing understanding of geometry and space, 351-368.

Goodyear, P., & Dimitriadis, Y. (2013). In medias res: reframing design for learning. *Research in Learning Technology*, 21. Obtenido en Febrero del 2016, de <http://www.researchinlearningtechnology.net/index.php/rlt/article/view/19909>

Gutwin, C., & Greenberg, S. (2004). The importance of awareness for team cognition in distributed collaboration. En E. Salas & S. M. Fiore (Eds), *Team cognition: Understanding the factors that drive processes and performance* (pp. 177-201).

Heijltjes, A., van Gog, T., Leppink, J., & Paas, F. (2015). Unraveling the effects of critical thinking instructions, practice, and self-explanation on students' reasoning performance. *Instructional Science*, 43(4), 487-506.

Huitema, B. E. (1980). *Analysis of covariance*. John Wiley & Sons, Ltd.

Hung, H. C., Young, S. S. C., & Lin, C. P. (2009, June). Constructing the face-to-face collaborative game-based interacted environment for portable devices in English vocabulary acquisition. In *Proceedings of the 9th international conference on Computer supported collaborative learning-Volume 1* (pp. 370-374). International Society of the Learning Sciences.

- Janssen, J., Erkens, G., Kanselaar, G., & Jaspers, J. (2007). Visualization of participation: Does it contribute to successful computer-supported collaborative learning?. *Computers & Education*, 49(4), 1037-1065.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1999). Making cooperative learning work. *Theory into practice*, 38(2), 67-73.
- Johnson, R. T., Johnson, D. W., & Stanne, M. B. (1985). Effects of cooperative, competitive, and individualistic goal structures on computer-assisted instruction. *Journal of Educational Psychology*, 77(6), 668.
- Johnston, T. C. (2011). Roles and responsibilities in team projects. *Journal of College Teaching & Learning (TLC)*, 2(12).
- Kreijns, K., Kirschner, P. A., & Jochems, W. (2003). Identifying the pitfalls for social interaction in computer-supported collaborative learning environments: a review of the research. *Computers in human behavior*, 19(3), 335-353.
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2008). Introducing tpck. *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators*, 3-29.
- Kong, S. C. (2015). An experience of a three-year study on the development of critical thinking skills in flipped secondary classrooms with pedagogical and technological support. *Computers & Education*, 89, 16-31.
- Lehrer, R., & Chazan, D. (Eds.). (2012). *Designing learning environments for developing understanding of geometry and space*. Routledge.
- Liu, C.-C., Chung, C.W., Chen, N.-S., & Liu, B.-J. (2009). Analysis of Peer Interaction in Learning Activities with Personal Handhelds and Shared Displays. *Educational Technology & Society*, 12 (3), 127–142.
- Looi, C. K., Chen, W., & Ng, F. K. (2010). Collaborative activities enabled by GroupScribbles (GS): An exploratory study of learning effectiveness. *Computers & Education*, 54(1), 14-26.
- Lopez-Real, F., & Leung, A. (2006). Dragging as a conceptual tool in dynamic geometry environments. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 37(6), 665-679.
- Luzón, J. M., & Letón, E. (2015). Use of animated text to improve the learning of basic mathematics. *Computers & Education*, 88, 119-128.

Marroquin, M., (2016). *Collpad 2 con argumentador: Aporte del argumentador en el aprendizaje y desarrollo de habilidades paralelas*. (Tesis para optar al grado de Magíster no publicada), Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.

Ministerio de Educación. (2013). *Estándares de aprendizaje Matemática 4° Básico*.

Mo, D., Zhang, L., Luo, R., Qu, Q., Huang, W., Wang, J., ... & Rozelle, S. (2014). Integrating computer-assisted learning into a regular curriculum: evidence from a randomised experiment in rural schools in Shaanxi. *Journal of development effectiveness*, 6(3), 300-323.

Muijs, D., & Reynolds, D. (2000). School effectiveness and teacher effectiveness in mathematics: Some preliminary findings from the evaluation of the mathematics enhancement programme (primary). *School effectiveness and school improvement*, 11(3), 273-303.

Niramitranon, J., Sharples, M., & Greenhalgh, C. (2010). Orchestrating Learning in a one-to-one Technology Classroom. In *New Science of Learning* (pp. 451-467). Springer New York.

Nussbaum, M., Alvarez, C., McFarlane, A., Gomez, F., Claro, S., & Radovic, D. (2009). Technology as small group face-to-face Collaborative Scaffolding. *Computers & Education*, 52(1), 147-153.

Nussbaum, M., & Diaz, A. (2013). Classroom logistics: Integrating digital and non-digital resources. *Computers & Education*, 69, 493-495.

OECD. (2013). *PISA 2015 Collaborative Problem Solving Framework*. OECD Publishing. Obtenido el 18 de Diciembre del 2014, de: <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Collaborative%20Problem%20Solving%20Framework%20.pdf>

OECD (2015), *Students, Computers and Learning: Making the Connection*, OECD Publishing, Paris. Obtenido el 18 de Diciembre del 2014 de: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239555-en>

Olive, J. (2000). Implications of using dynamic geometry technology for teaching and learning. *Ensino e Aprendizagem de Geometria. Lisboa: SPCE*, 7. Obtenido en Junio de 2016, de: http://math.coe.uga.edu/olive/portugal/portugal_paper.html

Owen Wilson, L. (2013). *Anderson and Krathwohl - Understanding the New Version of Bloom's Taxonomy*. Obtenido de: <http://thesecondprinciple.com/teaching-essentials/beyond-bloom-cognitive-taxonomy-revised/>

- Pavlovych, A., & Stuerzlinger, W. (2008, October). Effect of screen configuration and interaction devices in shared display groupware. In *Proceedings of the 3rd ACM international workshop on Human-centered computing* (pp. 49-56). ACM.
- Pedró, F. (2011). Tecnología y escuela: lo que funciona y por qué. *Madrid: Fundación Santillana*.
- Perrotta, C., & Evans, M. A. (2013). Orchestration, power, and educational technology: A response to Dillenbourg. *Computers & Education*, 69, 520-522.
- Phiri, L., Meinel, C., & Suleman, H. (2016). Streamlined orchestration: An orchestration workbench framework for effective teaching. *Computers & Education*, 95, 231-238.
- Román, M., Ruffinelli, A., Lastra, S., & Guerrero, A. (2006). Fortaleciendo la Enseñanza de la Geometría en NB2 mediante el Uso de TIC. *Segundo Seminario Nacional de Proyectos de Innovación en Informática Educativa*, 93-102.
- Roschelle, J., Dimitriadis, Y., & Hoppe, U. (2013). Classroom orchestration: synthesis. *Computers & Education*, 69, 523-526.
- Roschelle, J., & Teasley, S. D. (1995, Enero). The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In *Computer supported collaborative learning* (pp. 69-97). Springer Berlin Heidelberg.
- Rotherham, A. J., & Willingham, D. T. (2010). "21st-Century" Skills. *American Educator*, 17.
- Säljö, R. (1999). A sociocultural perspective on the human-technology link. *Learning with computers: Analysing productive interaction*, 144.
- Salomon, G., & Globerson, T. (1989). When teams do not function the way they ought to. *International journal of Educational research*, 13(1), 89-99.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 591-611.
- Sharples, M., Scanlon, E., Ainsworth, S., Anastopoulou, S., Collins, T., Crook, C., ... & O'Malley, C. (2015). Personal inquiry: Orchestrating science investigations within and beyond the classroom. *Journal of the Learning Sciences*, 24(2), 308-341.
- Sherard, W. H. (1981). Why is geometry a basic skill?. *The Mathematics Teacher*, 74(1), 19-60. Obtenido en Febrero del 2016, de: <http://www.jstor.org/stable/27962296>

Slavin, R. E. (1996). Research on cooperative learning and achievement: What we know, what we need to know. *Contemporary educational psychology*, 21(1), 43-69.

Spada, H., Meier, A., Rummel, N., & Hauser, S. (2005, May). A new method to assess the quality of collaborative process in CSCL. In *Proceedings of the 2005 conference on Computer support for collaborative learning: learning 2005: the next 10 years!* (pp. 622-631). International Society of the Learning Sciences.

Stahl, G., Koschmann, T., & Suthers, D. (2006). Computer-supported collaborative learning: An historical perspective. *Cambridge handbook of the learning sciences*, 2006, 409-426.

Szewkis, E., Nussbaum, M., Rosen, T., Abalos, J., Denardin, F., Caballero, D., ... & Alcoholado, C. (2011). Collaboration within large groups in the classroom. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 6(4), 561-575.

Toyama, K. (2014). Teaching how to fish: lessons from information and communication technologies for international development. *Journal of Marketing Management*, 30(5-6), 439-444.

Toyama, K. (2011a, Febrero). Technology as amplifier in international development. In *Proceedings of the 2011 iConference* (pp. 75-82). ACM.

Toyama, K. (2011b). There are no technology shortcuts to good education. *Educational Technology Debate*, 8. Retrieved on January 2016, from: <http://edutechdebate.org/ict-in-schools/there-are-no-technology-shortcuts-to-good-education/>

Vygotsky, L. (1930/1978). *Mind in society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Zagal, J. P., Rick, J., & Hsi, I. (2006). Collaborative games: Lessons learned from board games. *Simulation & Gaming*, 37(1), 24-40.

Zea, N. P., Sánchez, J. G., & Gutiérrez, F. L. (2009, July). Collaborative learning by means of video games: An entertainment system in the learning processes. In *Advanced Learning Technologies, 2009. ICALT 2009. Ninth IEEE International Conference on* (pp. 215-217). IEEE.

Zhao, Y., Pugh, K., Sheldon, S., & Byers, J. (2002). Conditions for classroom technology innovations. *The Teachers College Record*, 104(3), 482-515.

Zurita, G., & Nussbaum, M. (2004). Computer supported collaborative learning using wirelessly interconnected handheld computers. *Computers & education*, 42(3), 289-314.

Zurita, G., & Nussbaum, M. (2007). A conceptual framework based on activity theory for mobile CSCL. *British Journal of Educational Technology*, 38(2), 211-235.

Zurita, G., Nussbaum, M., & Shaples, M. (2003, Septiembre). Encouraging face-to-face collaborative learning through the use of handheld computers in the classroom. In *International Conference on Mobile Human-Computer Interaction* (pp. 193-208). Springer Berlin Heidelberg.

ANEXOS

7 ANEXO A: DOCUMENTO DE ORQUESTACIÓN

En el documento de orquestación pueden apreciarse instrucciones diferenciadas para cada grupo.

ORIENTACIONES PARA EL DESARROLLO DEL TEMA 1: LÍNEA DE SIMETRÍA			
Curso: 4º básico	Asignatura: Matemática	Eje: Geometría	Tiempo destinado para el tema: 6 hrs. Número de clases: 3
Tema: Líneas de simetría en figuras planas.			
Objetivo de Aprendizaje: Demostrar que comprenden una línea de simetría: <ul style="list-style-type: none"> identificando figuras simétricas 2D creando figuras simétricas 2D dibujando una o más líneas de simetría en figuras 2D usando software geométrico 		Objetivos del tema: <ul style="list-style-type: none"> Demostrar que comprende una línea de simetría identificando y creando figuras simétricas 2D, dibujando una o más líneas de simetría en figuras 2D. Demostrar que comprenden cuándo una figura es simétrica o no. 	
Aprendizajes esperados para los estudiantes: <ul style="list-style-type: none"> Identifican líneas de simetría en figuras planas. Dibujan una o más líneas de simetría en figuras planas, según corresponda. Identifican figuras simétricas. Dibujan figuras simétricas. 			
Habilidad: Modelar		Indicador: Identificar líneas de simetría en figuras planas.	
Conceptos claves del tema: <ul style="list-style-type: none"> Simetría, línea de simetría, figuras planas. 			
Aprendizajes previos necesarios para el desarrollo del tema: <ul style="list-style-type: none"> Reconocer en el entorno figuras 2D reflejadas. 			
Página 1 de 10			
Clase 1			
Momento	Orientaciones al docente		Recursos necesarios
Preparación previa al inicio de la clase	Grupo control (10 min incluido inicio) <ul style="list-style-type: none"> Ingrese a la sala y, mientras los estudiantes se ordenan en sus puestos, encienda el notebook y el proyector. Identifique la presentación PowerPoint <i>Líneas de simetría en figuras en el plano</i> (la cual ejecutará luego del inicio de la clase). 	Grupo experimental (20 min incluido inicio) <ul style="list-style-type: none"> Realice el proceso de entrega de tablets tal como se detalla en el Anexo 1: Estrategias de gestión del recurso, punto 1, pasos 1.1 al 1.3. Inicie el software siguiendo los pasos descritos en el Anexo 2: Instrucciones de inicio de equipos y aplicación, punto 1 al 8. Realice la formación de grupos tal como se indica en el Anexo 1: Estrategias de gestión del recurso, punto 2, pasos 2.1 al 2.5. Una vez formados los grupos, explícite a sus alumnos que harán una breve introducción de la clase y que luego realizarán distintas actividades con las tablets. 	Grupo control: <ul style="list-style-type: none"> Notebook profesor. Proyector. Grupo experimental: <ul style="list-style-type: none"> Notebook profesor. Tablet profesor. Router Una tablet por alumno. Letreros con números de grupos (1 al 11).
	Inicio (10 minutos) <ul style="list-style-type: none"> Inicie la clase explicitando a sus alumnos que comenzarán un nuevo tema dentro del ámbito de la Geometría, que se llama Líneas de Simetría. Indíqueles que el objetivo de esta clase es que <i>Comprendan e identifiquen líneas de simetría en figuras planas</i> y que para lograrlo es necesario activar algunos aprendizajes previos. Para hacer esto, realice a sus estudiantes las siguientes preguntas y actividades: <ol style="list-style-type: none"> ¿Qué son las figuras planas? Den algunos ejemplos. Para entregar una idea intuitiva sobre el concepto de líneas de simetría mencione algún ejemplo donde se pueda encontrar una línea de simetría en elementos de nuestro entorno. Luego, pregunte en qué otros elementos podemos trazar una línea imaginaria que lo divida en mitades iguales. <ul style="list-style-type: none"> A medida que sus estudiantes participan, anote en el pizarrón lo que comentan. Luego, invítelos a participar activamente de la presentación PowerPoint del tema <i>Líneas de simetría en figuras en el plano</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Pizarra. Plumón. 	
Página 2 de 10			

Figura 7-1: Documento de orquestación en español

8 ANEXO B: EJEMPLOS DE ROTACIÓN Y LÍNEAS DE SIMETRÍA

Anexo B.1: Rotación

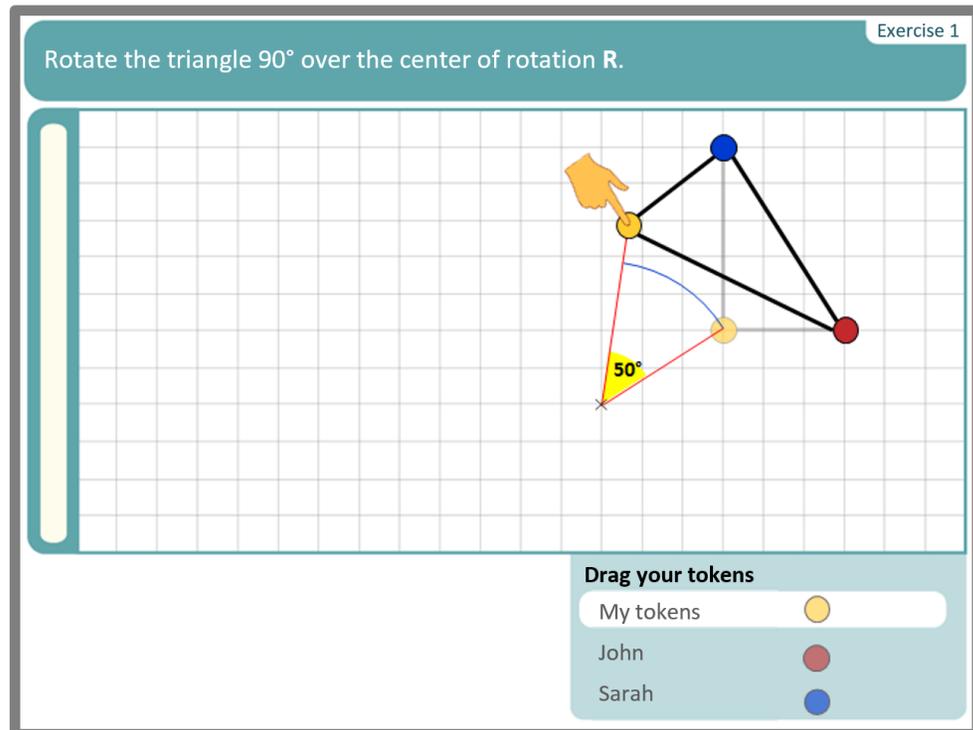


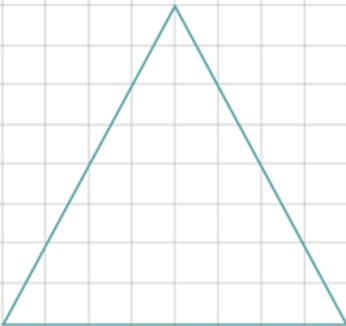
Figura 8-1: Ejemplo de rotación

En esta actividad se pide rotar una figura en torno a un punto dado en un ángulo específico. Aquí, las fichas parten sobre los vértices de la figura inicial. Al comenzar a arrastrarlas, el sistema muestra las líneas que conforman el ángulo de rotación (en rojo), el valor de dicho ángulo y el arco de equidistancia al centro de rotación (en azul).

Anexo B.2: Líneas de simetría

Exercise 1

Mark the symmetry lines for the triangle. You have to work with your group.



Drag your tokens

My tokens		
John		
Sarah		

The image shows a digital interface for an exercise. At the top, a teal header contains the text 'Exercise 1' and 'Mark the symmetry lines for the triangle. You have to work with your group.' Below this is a large grid with a light blue isosceles triangle centered on it. The triangle's base is 4 grid units wide and its height is 3 grid units. To the right of the grid is a control panel titled 'Drag your tokens'. It lists 'My tokens' with two yellow tokens, 'John' with one red token, and 'Sarah' with one blue token. Each token is represented by a colored circle with a vertical line extending downwards from its center.

Figura 8-2: Ejemplo de líneas de simetría siendo enunciado.

Exercise 1

Mark the symmetry lines for the triangle. You have to work with your group.

Drag your tokens

My tokens

John

Sarah

Figura 8-3: Ejemplo de líneas de simetría contestado.

En esta actividad las fichas vienen de a pares, unidas con una ficha de diferente color por una línea de largo dinámico que permite el libre movimiento de ambos extremos. El objetivo de la actividad es que todas las líneas que unen las fichas representen una línea de simetría de la figura inicial.

**9 ANEXO C: RESULTADO DE VERIFICACIONES SUPUESTOS
PARA LA PRUEBA-T**

Tabla 9-1: Resultados del test Shapiro-Wilk para cada grupo y test

	Test de Shapiro-Wilk					
	Pretest		Posttest		Posttest - Pretest	
	W	Valor p	W	Valor p	W	Valor p
Control	0,946	0,174	0,963	0,436	0,946	0,172
Experimental	0,929	0,050	0,961	0,347	0,933	0,065

Tabla 9-2: Resultados del test de homogeneidad de varianzas para cada grupo para la prueba-T

	Homogeneidad de varianzas	
	F	Valor p
Control	1,098	0,814
Experimental	0,768	0,489

10 ANEXO D: EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE CÓDIGO JSON UTILIZADO POR EL SOFTWARE DESARROLLADO

El presente ejemplo corresponde al ejemplo mostrado en la sección 3.2, correspondientes a las figuras Figuras 3-1 a Figura 3-5.

Se puede apreciar que el ejercicio, en formato JSON está en un primer nivel con la información del ejercicio en sí. Esto le indica al software que debe cargar el enunciado “Encuentre las líneas de simetría del hexágono”, y debe cargar la imagen “ej1.1.jpg”.

Además, le indica cuáles son las imágenes que deben cargarse en la paleta de elementos (los elementos que los estudiantes podrán arrastrar al espacio de respuestas), en este caso “líneas.001”, “líneas.002”, “líneas.003” y “líneas.004”.

Para la fase grupal, este formato JSON le indica al software qué elementos corresponden a qué alumno para ser movidas, asegurando los roles. En este caso, “user1” (un alumno) utilizará las líneas 001 y 002, “user2” (otro alumno) podrá mover la línea 003, y “user3” (el último alumno del grupo) podrá mover sólo la línea 004.

ClaseEjemplo.json

Elaboración propia

```
{
  "Enunciado": "Encuentre las líneas de simetría del siguiente
hexágono",
  "Fondo": "ej1.1.jpg",
  "ObjPaleta": [
    {
      "user": "user1",
      "obj": "lineas.001"
    },
    {
      "user": "user1",
      "obj": "lineas.002"
    },
    {
      "user": "user2",
      "obj": "lineas.003"
    },
    {
      "user": "user3",
      "obj": "lineas.004"
    }
  ]
}
```

11 ANEXO E: PAPER EN INGLÉS

Orchestrating classroom resources: is it more important than introducing technology?

Anita Díaz, Samuel Gleisner, Miguel Nussbaum, José Tomás Marquinez, Matías Marroquin.

11.1 Abstract

Evidence has revealed the potential negative effects of a lack of pedagogical support for teachers as part of national ICT for education policies. Orchestration therefore arises as a response to this need, providing teachers with the necessary support to manage, in real time, multi-layered activities in a multi-constraints context. Previous studies have shown that using technology with orchestration has a greater impact on learning than using technology without orchestration. The aim of this work is to study whether or not orchestration has a significant impact on learning, regardless of the presence or absence of technology. In order to do so, a study was conducted across 12 sessions, which involved 55 4th grade students studying geometry. These students were split into two groups: one group using technology and the other group following traditional teaching methods, with both groups using the same orchestration scheme. The technology used was based on small-group (3 students) collaborative software designed for tablets. The results revealed that both groups enjoyed significant learning gains, with a large effect size and no significant differences between the two. This shows the benefits of orchestrating a class, regardless of whether or not it involves the use of technology.

The orchestration of this experience provided the students with a series of different opportunities to learn about geometry. In this sense, the technology used by the Treatment Group was seen as just another resource. Given that there was no significant difference between the two groups, the set of digital activities included in the Treatment Group did not add any value to the other resources. Even when the technology is consistently integrated into the classroom work to provide the students

with different experiences, the added value of such technology must be greater than the added value of conventional devices in order to make its use worth the costs of introducing it. In our study, the added value of the technology was provided by the collaborative element. However, the objective of the sessions was for the students to learn about geometry, with the collaborative technology only providing a means through which to achieve this objective. We therefore did not measure the improvement in the students' collaborative skills and, as such, no added value was found for the technology. Our main finding from this study is that when introducing technology into the classroom it must first be addressed if it provides added value for achieving the defined objective when comparing it to the other available resources.

11.2 Introduction

Technology is an amplifier of human development, with the capacity to enhance both the advantages and pitfalls of different contexts and systems (Toyama, 2014). The field of education is no exception to this impact. By amplifying the capacities of an education system, technological interventions not only have the potential to reinforce best practice, but also to exacerbate deficient practices (Toyama, 2011). In fact, a recent report by the OECD suggests that “the use of computers at school does not produce appreciable improvements in students' reading, mathematics or science skills” (OECD, 2015).

In order to adequately integrate technology and therefore ensure that the innovation effectively aids the learning process in the classroom, a series of conditions associated with the three fundamental axes in the learning process must first be met. These axes include the teacher (the innovator), the school (the context) and the project (the technological innovation) (Zhao, Pugh, Sheldon, & Byers, 2002). It is therefore critical not only to manage the technological innovation within the specific context of the school, but also to manage how the teacher incorporates the technology into their own practices and the available pedagogical resources. This view is in line with the thinking that teacher support (from either peers or external agents) before and during the

incorporation of technology is essential (Chen & Looi, 2009). Indeed, previous studies have revealed the potential negative effects of a lack of pedagogical support for teachers as part of national ICT for education policies (Claro, Nussbaum, López & Díaz, 2013).

Coherent with this view of integrating technology into the classroom, Aldunate & Nussbaum (2013) propose a model for appropriating technology as a process of dynamic transitions, translating to different levels of teacher support. The model concludes that teachers who routinely incorporate education technology into their teaching are more likely to adopt new technologies, regardless of how complex these may be. However, teachers who are not early adopters and rarely incorporate technology into their classes are less likely to adopt new technologies and more likely to abandon the adoption of such technologies at critical points during the implementation process.

In this sense, both initial encouragement as well as in-classroom support is essential if teachers are to accept the use of a particular technology in the classroom. Orchestration therefore arises in response to this need, a concept which “refers to how a teacher manages, in real time, multi-layered activities in a multi-constraints context” (Dillenbourg, 2013). Orchestrating a class goes beyond mere lesson planning, as it provides the teacher with different possible scenarios, taking into account not only curricular activities but also possible contingencies that may occur in the classroom (Dillenbourg, 2013). Orchestration supports the teacher’s decision making process when implementing teaching strategies, taking into account the social relationships that are developed within the classroom (Perrotta & Evans, 2013). The guidelines contained in the orchestration allow the teacher to focus the teaching process on the student (Goodyear & Dimitriadis, 2013), with the students playing a leading role in the classroom and the teacher acting as a mediator (Sharpless et al., 2015). Orchestration therefore organizes lessons based on curricular content by categorizing the teacher’s actions from both a logistical and pedagogical point of view (Nussbaum & Díaz, 2013).

Various studies have shown that the use of technology with orchestration has a more positive impact on learning than the use of technology without orchestration (Niramitranon, Sharples, & Greenhalgh, 2010; Díaz, Nussbaum, Ñopo, Maldonado, & Corredor, 2015; Díaz, Nussbaum & Varela, 2015). Within an orchestration, technology is just an additional resource and not a central element in the education process (Díaz et al., 2015). Furthermore, all known studies include the technology as part of the orchestration (Phiri, Meinel, Suleman, 2016). Given this, it is important to understand whether or not it is beneficial to orchestrate a class, regardless of the presence or absence of technology. Therefore, the research question for this study asks the following: **“In an orchestrated lesson, does the inclusion of technology always provide added value?”**

11.3 Methodology

11.3.1 Sample and intervention design

In order to answer the research question, an experimental study was conducted with two groups of students (Table 11-1). Both groups were taught by the same teacher using the same orchestration documents. The differentiating element for the intervention was that while the Treatment Group worked on the topics that were introduced by the teacher through collaborative exercises using technology, the students in the Control Group worked individually on paper. The exercises developed by both groups were equivalent in terms of their content and difficulty.

Table 11-1: Elements of the intervention

Element	Treatment Group	Control Group
Curricular content	Geometry	Geometry
Orchestration	Yes	Yes
Digital support	Yes	No
Type of work	Collaborative	Individual
Teacher	Same teacher as the control group	Same teacher as the treatment group
Students in the class	33	32
Participating students	28 (12 M; 16 F)	25 (14 M; 11 F)

The study was conducted over 12 sessions, each lasting for 90 minutes. In total, 65 students participated in the study (33 in the Treatment Group and 32 in the Control Group). The students were from two 4th grade classes at a state-subsidized private school in Chile. Throughout the study, both groups experienced dropouts due to absenteeism or students changing schools. Therefore, the participants in this study were considered as those who sat both the pre- and post-test, giving a total of 53 students (28 students in the Treatment Group, including 12 boys and 16 girls, and 25 students in the Control Group, including 14 boys and 11 girls). One class was randomly selected as the Treatment Group, the other remaining as the Control Group.

11.3.2 Curricular content

The study was based on specific geometry topics taken from the unit on lines of symmetry and isometric transformations of 2D shapes: reflection, translation and rotation. These topics were chosen as they are transversal and directly related to other areas of mathematics, as well as relating to the development of spatial awareness and the resulting connection with the real world (Sherard, 1981; Lehrer & Chazan, 2012). Furthermore, these topics are well-suited to the use of digital technology given the opportunities they provide for visualization and interaction (Saljö, 1999).

The most relevant example of using technology to teach geometry is the Dynamic Geometry Software (DGS). The main characteristic of this technology is that it allows for direct interaction with the geometrical objects, with the users able to view in real time the changes that are made to the objects (Goldenberg & Cuoco, 1998; Lopez-Real & Leung, 2006). Such interaction may help students understand and make generalizations regarding geometrical properties.

11.3.3 Digitally-assisted collaborative activity

In each session, a tablet was given to every student and the teacher. These tablets could be used to start a session using the software designed specifically for this study. The application was run over a local wireless network that was set up in the classroom. The

students logged on using their register number, while the teacher was assigned a special number.

From their screen, the teacher could see which students had logged on and subsequently divide them randomly into groups of 3.

The collaborative activity involved a series of exercises of increasing levels of difficulty, in which a geometric shape was shown on a grid and the students were asked to plot the resulting shape given a specific isometric transformation, or indeed to find the lines of symmetry for the original shape.

In each exercise, every student in the group was assigned a colour and one or more tokens of that colour, which they could place on the grid. For reflection, translation and rotation exercises, the aim of the activity was to build the required shape using all of the available tokens as vertices (Figure 11-1). For exercises involving lines of symmetry, the aim was to place the tokens as the ends of the lines of symmetry for the original shape.

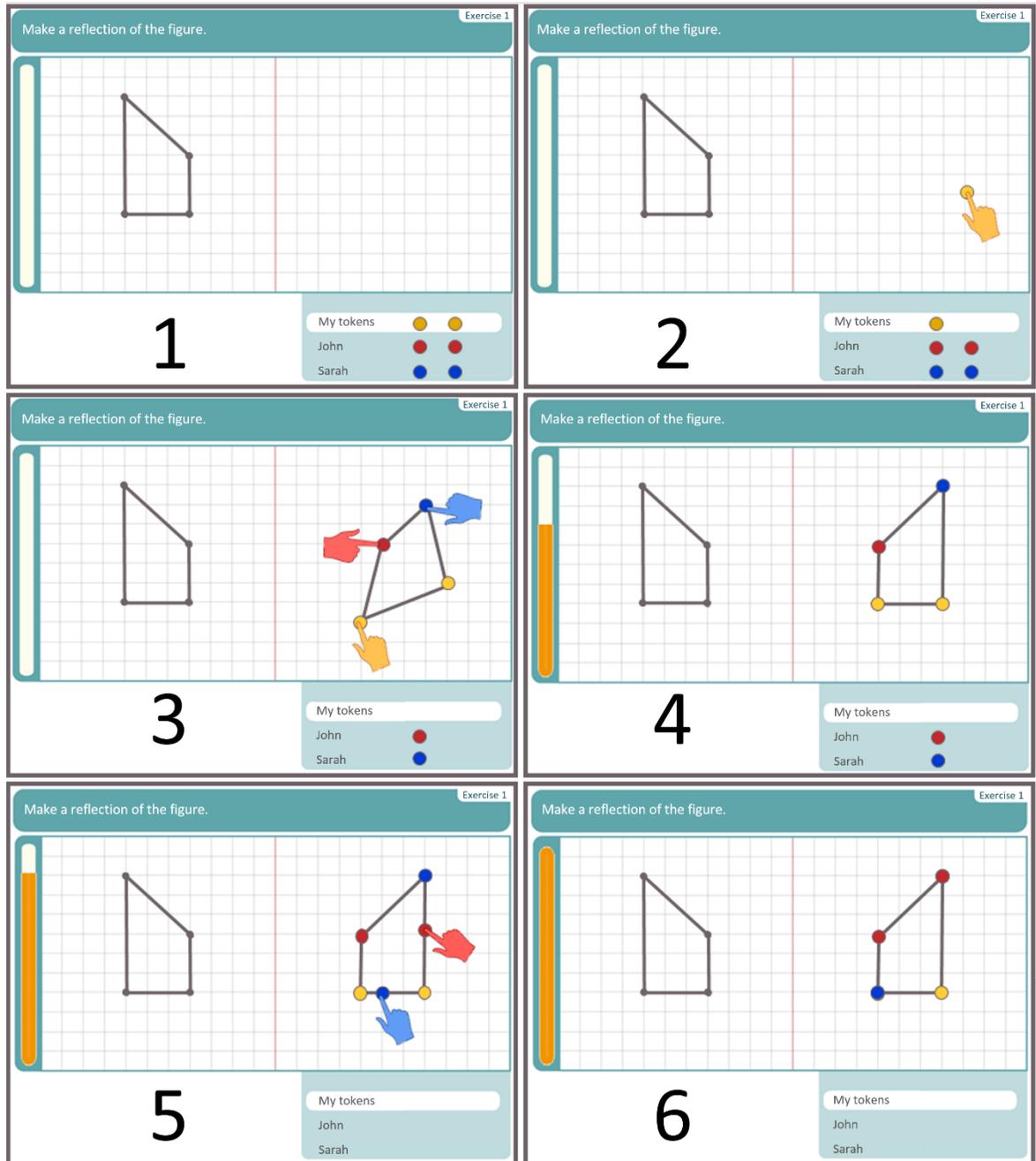


Figure 11-1: Step-by-step for a collaborative reflection exercise

Figure 11-1 shows the step-by-step process for a reflection exercise. It is important to note that at any time during the exercise the screens for the three participants in the group were identical. The only difference between the screens was the level of

interaction that was possible on each, i.e. on each screen the student could only move their own tokens. Figure 11-1 shows the exercise from the perspective of one of the students in the group, who we shall call the “current student”.

Step 1 of Figure 11-1 shows a trapezium that must be reflected on the vertical axis, as well as three pairs of tokens, each of which is associated with a particular colour and the name of a student. The current student is assigned the colour yellow (“My tokens”), while their classmates John and Sarah are assigned the colour red and blue, respectively. In Step 2 of Figure 11-1, the current student places a token within the grid (an action which is represented as a coloured hand in Figure 11-1). In step 3 of Figure 11-1, each student drags their coloured tokens. As soon as there are 3 or more tokens on the grid, the system automatically draws a polygon using the tokens as vertices (Caballero et al., 2014). In Step 4 of Figure 11-1, the 3 students reach an agreement as to how to assemble the required shape. As the students get closer to the correct answer, the system provides visual feedback (Debuse & Lawley, 2016) in the form of a progress bar (Step 4). Should there be more tokens than needed (Step 5) the students must place these on one of the vertices (Step 6). Once the exercise has been completed, the system gives the corresponding feedback, indicating to the students that their answer was correct (Step 6). Finally, the group then moves on to the next exercise.

In parallel to this, as the students complete the exercises, the teacher’s screen shows which exercise each group is working on, allowing the teacher to actively monitor the groups and help those with difficulties (Muijs & Reynolds, 2000). On this same screen, the teacher has the option to pause the activity for the whole class to explain a recurring doubt or question.

This dynamic is exactly the same for reflection and translation exercises. For rotation and lines of symmetry exercises, however, the exercises are slightly different. Nevertheless, they share the same essence of collaborating by moving coloured tokens that are subject to restrictions based on the nature of the problem (Annex 2).

11.3.4 Orchestration

For both groups, the class was taught by following orchestration documents that were based on the model proposed by Nussbaum and Díaz (2013). An orchestration was developed for each of the topics (lines of symmetry, reflection, translation and rotation). This document provided an explanation for the pedagogical stages of the lesson, as well as for the use of the digital and conventional resources. The document also specified which activities were intended for the Treatment Group and which were intended for the Control Group.

The teacher was trained in how to use the orchestrations approximately one month before the experiment began, to become familiar with the orchestrated approach. This training consisted of two 3-hours sessions which included teaching the teacher how to use all of the resources that were to be used in class (including the software).

Based on the guidelines included in the orchestration, both groups were taught using the following resources and activities: whiteboard, exercise book, questions for the whole class, slideshow presentations, handling physical objects (e.g. sheets of cardboard) and individual pencil-and-paper exercises. The aforementioned resources formed part of what the classroom teacher termed the “traditional method” with which they normally teaches said topics.

The main difference between the orchestrations used with the two groups lay in the fact that the guidelines for the Treatment Group included digital collaborative activities, while the Control Group worked only on pen-and-paper exercises (Annex 1).

The design of the activities for both groups was overseen by the same team of experts that developed the assessment instrument, with the aim of ensuring that the activities carried out by both groups were equivalent, while also ensuring that they covered similar topics and that the exercises followed the same sequence in terms of their level of difficulty.

11.3.5 Instruments

To measure the impact of the use of digital resources, the study only assessed student learning. Therefore, the unit of analysis was the difference between the learning gains reported by the Treatment Group and Control Group, pre- and post- intervention. The instrument used to gather this information consisted of a learning assessment (the same instrument was used for the pre- and post-test) developed by external mathematics teachers. The aim of this instrument was to measure the students' knowledge of geometry in terms of lines of symmetry, reflection, translation and rotation (topics that were covered by the orchestrations used in this study). The instrument was applied before and after the experiment, under identical conditions.

The test consisted of 20 multiple-choice questions, each with 5 alternatives and only one correct answer. The test lasted for 30 minutes, in which time all of the students managed to complete the test. The internal validity of this instrument was verified using Cronbach's alpha ($\alpha = 0.626$ for the pre-test and $\alpha = 0.664$ for the post-test). A score of over 0.6 suggests that the test can be used to classify students based on the topics that are covered (Bland & Altman, 1997).

11.4 Results

Paired t-tests were conducted based on the pre- and post-test scores. The results of these tests are detailed in Table 11-2, below.

Table 11-2: t-test for Post-test – Pre-test scores per group

Group	Paired difference (Post-test – Pre-test)					t ratio	DF	p	Effect size, Cohen's d
	Mean	Standard Deviation	Standard Error of the Mean	95% CI					
				Lower limit	Upper limit				
Control	5.76	3.02	0.604	4.51	7.01	9.54	24	<0.001	2.11
Treatment	4.86	3.73	0.705	3.41	6.30	6.89	27	<0.001	1.51

Both the Control Group and the Treatment Group revealed a statistically significant improvement in their post-test scores when compared with the results from the pre-test. Furthermore, for both groups it is possible to talk about a large effect size (Cohen, 1987), although the effect size was larger for the Control Group.

To answer our research question regarding the effect of technology on a class taught using orchestration, an analysis of covariance (ANCOVA) was carried out in order to detect any statistically significant differences between the scores on the post-test for the Control Group and Treatment Group, controlling for the pre-test scores. The results ($F(1,51)=0.0418$; $p=0.839$) show that it is not possible to identify any significant differences between the two orchestrated classes (with and without technology). This can also be verified by analysing the difference between the adjusted means that were obtained for each group from the ANCOVA (Control = 15.72, Treatment = 15.57). The assumption of homoscedasticity for the ANCOVA was tested using Levene's test ($F(1,51)=3.354$, $p=0.073$), which suggests there was homogeneity of variance.

11.5 Discussion and conclusions

The aim of this study was to see whether, in an orchestrated class, the inclusion of technology always provides added value. Through our experiment, we were able to observe that over the 12 sessions of the study both groups learned significantly, with a large effect size in both cases. The fact that both groups are orchestrated ensures that good use is made of the teacher's time and the resources that are available in the classroom. In this sense, technology is just another resource within the orchestration, and is not in itself significant enough to make a difference in terms of learning curricular content. Therefore, the answer to our research question is that it is beneficial to orchestrate a class, regardless of the presence or absence of technology.

The orchestration of this experience provided the students with a series of different opportunities to learn about geometry. In this sense, the technology used by the Treatment Group was seen as just another resource. Our results show that the diversity of experiences provided by the teacher allowed the students in both groups to

consolidate their knowledge of the topics that were covered. Given that there was no significant difference between the two groups, the set of digital activities included in the Treatment Group did not add any value to the other resources with respect to the learning outcomes measured by the instrument. This is coherent with the OECD findings (OECD, 2015), which suggest that no appreciable improvements are shown in student achievement in reading, mathematics or science in countries that have invested heavily in ICT for education.

However, using digital devices has been shown to have a positive effect on student learning (Cheung & Slavin, 2013; Mo et al., 2014). Even when the technology is consistently integrated into the classroom work to provide the students with different experiences, the added value of such technology must be greater than the added value of conventional devices in order to make its use worth the extra costs (time, hardware/software, training, etc.) of introducing it. In our study, the added value of the technology was provided by the collaborative element. Our main finding from this study is that when introducing technology into the classroom it must provide added value at the defined objective. For instance, in the use of animated text for studying basic mathematics (Luzón & Letón, 2015) or when using a flipped classroom to improve critical thinking skills among learners (Kong, 2015), the aim of the activity is based on the technology that is used. This was not the case in our study. In our study, the aim was for the students to learn about geometry, with the collaborative technology only providing a means through which to achieve this objective.

Limitations to this study include that we did not measure the improvement in the students' collaborative skills and, as such, no added value was found for the technology. Another limitation is the small sample size which could serve as an alternate explanation for the fact that no differences were found among groups. Therefore, future research should consider analyzing a larger sample and focus on measuring improvements in all skills that may be enhanced by the use of technology, i.e. the development of 21st Century skills (Rotherham & Willingham, 2010), such as collaboration (Chounta and Avouris, 2016) or critical thinking (Heijltjes et al., 2015).

References

Aldunate, R., & Nussbaum, M. (2013). Teacher adoption of technology. *Computers in Human Behavior*, *29*(3), 519-524. doi:10.1016/j.chb.2012.10.017

Bland, J. M., & Altman, D. G. (1997). Statistics notes: Cronbach's alpha. *Bmj*, *314*(7080), 572. doi:10.1136/bmj.314.7080.572

Caballero, D., Van Riesen, S. A., Álvarez, S., Nussbaum, M., De Jong, T., & Alario-Hoyos, C. (2014). The effects of whole-class interactive instruction with single display groupware for triangles. *Computers & Education*, *70*, 203-211.

Chen, F. H., Looi, C. K., & Chen, W. (2009). Integrating technology in the classroom: a visual conceptualization of teachers' knowledge, goals and beliefs. *Journal of Computer Assisted Learning*, *25*(5), 470-488. doi:10.1111/j.1365-2729.2009.00323.x

Cheung, A. C., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational Research Review*, *9*, 88-113. doi:10.1016/j.edurev.2013.01.001

Chounta, I. A., & Avouris, N. (2016). Towards the real-time evaluation of collaborative activities: Integration of an automatic rater of collaboration quality in the classroom from the teacher's perspective. *Education and Information Technologies*, *21*(4), 815-835. doi:10.1007/s10639-014-9355-3

Claro, M., Nussbaum, M., López, X., & Díaz, A. (2013). Introducing 1 to 1 in the classroom: A large-scale experience in Chile. *Educational Technology & Society*, *16*(3), 315-328. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.16.3.315>

Cohen, J. (1987). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Debusse, J. C., & Lawley, M. (2016). Benefits and drawbacks of computer-based assessment and feedback systems: Student and educator perspectives. *British Journal of Educational Technology*, *47*(2), 294-301. doi:10.1111/bjet.12232

Díaz, A., Nussbaum, M., Ñopo, H., Maldonado-Carreño, C., & Corredor, J. (2015). Orchestration: Providing Teachers with Scaffolding to Address Curriculum Standards and Students' Pace of Learning. *Journal of Educational Technology & Society*, *18*(3), 226-239. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.18.3.226>

- Díaz, A., Nussbaum, M., & Varela, I. (2015). Orchestrating the XO computer with digital and conventional resources to teach mathematics. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(3), 202-219. doi:10.1111/jcal.12081
- Dillenbourg, P. (2013). Design for classroom orchestration. *Computers & Education*, 69, 485-492.
- Goldenberg, E. P., & Cuoco, A. (1998). What is dynamic geometry. Designing learning environments for developing understanding of geometry and space, 351-368.
- Goodyear, P., & Dimitriadis, Y. (2013). In medias res: reframing design for learning. *Research in Learning Technology*, 21. Retrieved in February 2016, from <http://www.researchinlearningtechnology.net/index.php/rlt/article/view/19909>
- Heijltjes, A., van Gog, T., Leppink, J., & Paas, F. (2015). Unraveling the effects of critical thinking instructions, practice, and self-explanation on students' reasoning performance. *Instructional Science*, 43(4), 487-506. doi:10.1007/s11251-015-9347-8
- Kong, S. C. (2015). An experience of a three-year study on the development of critical thinking skills in flipped secondary classrooms with pedagogical and technological support. *Computers & Education*, 89, 16-31. doi:10.1016/j.compedu.2015.08.017
- Lehrer, R., & Chazan, D. (Eds.). (2012). *Designing learning environments for developing understanding of geometry and space*. Routledge.
- Lopez-Real, F., & Leung, A. (2006). Dragging as a conceptual tool in dynamic geometry environments. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 37(6), 665-679
- Luzón, J. M., & Letón, E. (2015). Use of animated text to improve the learning of basic mathematics. *Computers & Education*, 88, 119-128. doi:10.1016/j.compedu.2015.04.016
- Mo, D., Zhang, L., Luo, R., Qu, Q., Huang, W., Wang, J., ... & Rozelle, S. (2014). Integrating computer-assisted learning into a regular curriculum: evidence from a randomised experiment in rural schools in Shaanxi. *Journal of development effectiveness*, 6(3), 300-323. doi:10.1080/19439342.2014.911770
- Muijs, D., & Reynolds, D. (2000). School effectiveness and teacher effectiveness in mathematics: Some preliminary findings from the evaluation of the mathematics enhancement programme (primary). *School effectiveness and school improvement*, 11(3), 273-303.

Niramitranon, J., Sharples, M., & Greenhalgh, C. (2010). Orchestrating learning in a one-to-one technology classroom. In *New Science of Learning* (pp. 451-467). Springer New York. doi:10.1007/978-1-4419-5716-0_22

Nussbaum, M., & Diaz, A. (2013). Classroom logistics: Integrating digital and non-digital resources. *Computers & Education*, 69, 493-495. doi:10.1016/j.compedu.2013.04.012

OECD (2015), *Students, Computers and Learning: Making the Connection*, OECD Publishing, Paris. doi:10.1787/9789264239555-en

Olive, J. (2000). Implications of using dynamic geometry technology for teaching and learning. *Ensino e Aprendizagem de Geometria. Lisboa: SPCE*, 7. Retrieved on June 2016 from http://math.coe.uga.edu/olive/portugal/portugal_paper.html

Perrotta, C., & Evans, M. A. (2013). Orchestration, power, and educational technology: A response to Dillenbourg. *Computers & Education*, 69, 520-522. doi:10.1016/j.compedu.2013.04.007

Phiri, L., Meinel, C., & Suleman, H. (2016). Streamlined orchestration: An orchestration workbench framework for effective teaching. *Computers & Education*, 95, 231-238.

Rotherham, A. J., & Willingham, D. T. (2010). "21st-Century" Skills. *American Educator*, 17.

Saljö, R. (1999). Learning as the use of tools: a social-cultural perspective on the human technology. In Littleton, K. and Light, P.,(eds). *Learning with computers: analysing productive interaction*. London: Routledge.

Sharples, M., Scanlon, E., Ainsworth, S., Anastopoulou, S., Collins, T., Crook, C., ... & O'Malley, C. (2015). Personal inquiry: Orchestrating science investigations within and beyond the classroom. *Journal of the Learning Sciences*, 24(2), 308-341. doi:10.1080/10508406.2014.944642

Sherard, W. H. (1981). Why is geometry a basic skill?. *The Mathematics Teacher*, 74(1), 19-60. Retrieved on February 2016 from <http://www.jstor.org/stable/27962296>

Toyama, K. (2014). Teaching how to fish: lessons from information and communication technologies for international development. *Journal of Marketing Management*, 30(5-6), 439-444. doi:10.1080/0267257X.2014.884621

Toyama. (2011). There are no technology shortcuts to good education. *Educational Technology Debate*, 8. Retrieved on January 2016, from: <http://edutechdebate.org/ict-in-schools/there-are-no-technology-shortcuts-to-good-education/>

Zhao, Y., Pugh, K., Sheldon, S., & Byers, J. L. (2002). Conditions for classroom technology innovations. *Teachers college record*, 104(3), 482-515.

Annex 1

Stage	Teacher guidelines		Resources needed
<p>Preparation prior to the start of the lesson</p>	<p>Control group (10 min, including the start)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enter the classroom and, while the students are getting ready in their places, turn on the laptop and projector. • Find the PowerPoint presentation “Lines of symmetry in 2D figures” (which will be shown following the start of the lesson). 	<p>Experimental group (20 min, including the start)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carry out the process for handing out tablets, as described in Annex 1: Resource management strategies, Section 1, steps 1.1 to 1.3. • Run the software by following the steps described in Annex 2: Instructions for starting the devices and running the software, sections 1 through 8. • Form the groups as described in Annex 1: Resource management strategies, Section 2, steps 2.1 to 2.5. • Once the groups have been formed, explain to your students that there will be a brief introduction to the lesson and that they will then do different activities using the tablets. 	<p>Control group:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teacher laptop. • Projector. <p>Experimental group:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teacher laptop. • Teacher tablet. • 3 routers. • One tablet per student. • Signs with group numbers (1 to 11).
<p>Start</p>	<p>(10 minutes)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Start the lesson by explaining to your students that they will start with a new topic within the subject of Geometry, called Lines of Symmetry. Indicate to them that the objective of this lesson is for them to <i>Understand and identify lines of symmetry in 2D figures</i> and that in order to achieve this they must first activate some prior knowledge. To do this, ask your students the following questions and set them the following activities: <ol style="list-style-type: none"> 1. What are 2D figures? Give some examples. 2. To give them an intuitive idea about the concept of lines of symmetry, mention some examples of lines of symmetry that we may find in our surroundings, for example of a door, of a table, etc. Then, ask in which other elements of our surrounding we could draw an imaginary line that would divide it into two equal halves. <ul style="list-style-type: none"> • As your students start to participate, write their comments on the whiteboard. Then, invite them to actively participate in the PowerPoint presentation on the topic of “Lines of symmetry in 2D figures”. 		<p>Control and Experimental group:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Whiteboard marker.

Figure 11-2: In the orchestration document, it is possible to see the differentiated instructions for each group.

Annex 2: Examples of rotation and lines of symmetry exercises

Rotation

Exercise 1

Rotate the triangle 90° over the center of rotation R.

Drag your tokens

My tokens	●
John	●
Sarah	●

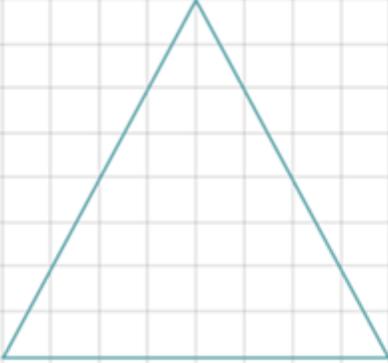
Figure 11-2

In this activity, the students are asked to rotate a shape about a given point and at a specific angle. Here, the tokens start on the vertices of the original shape. When a student starts to drag a token, the system shows visual feedback in the screen in which the token is being dragged: the lines for the angle of rotation (in red), the size of said angle and the arc from the centre of rotation (in blue).

Lines of symmetry

Exercise 1

Mark the symmetry lines for the triangle. You have to work with your group.



Drag your tokens

My tokens		
John		
Sarah		

The image shows a digital interface for an exercise. At the top, a teal header contains the text 'Exercise 1' and 'Mark the symmetry lines for the triangle. You have to work with your group.' Below this is a large grid with a light blue isosceles triangle centered on it. To the left of the grid is a vertical yellow bar. At the bottom right, there is a 'Drag your tokens' section with a list of names and corresponding colored tokens: 'My tokens' (two yellow tokens), 'John' (one red token), and 'Sarah' (one blue token).

Figure 11-3

Exercise 1

Mark the symmetry lines for the triangle. You have to work with your group.

Drag your tokens

My tokens

John

Sarah

Figure 11-4

In this activity, the tokens come in pairs, joined together with a token of another colour by a dynamic line that allows both ends of the line to be moved freely. The aim of the activity is for all of the lines that join the tokens to represent a line of symmetry for the original shape.