

UNIVERSIDAD DE BURGOS

FACULTAD DE EDUCACIÓN



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN E
INNOVACIÓN EDUCATIVAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2019 – 2020

***LA TEORÍA DE LA VARIACIÓN Y EL PROCESO DE
APRENDIZAJE DESDE ENFOQUES DE
ENSEÑANZA STEM INTEGRADOS***

Alumno/a: Eva M. García Terceño

Director/a: Ileana M. Greca Dufranc

ÍNDICE

RESUMEN	2
TABLA DE MODIFICACIONES.....	4
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1	
La Teoría de la Variación y el proceso de enseñanza-aprendizaje	11
Introducción.....	11
Teoría de la Variación	12
Implicaciones para el proceso de enseñanza-aprendizaje.....	14
CAPÍTULO 2	
Presentación del primer estudio empírico sobre la aplicación de una secuencia STEM integrada en aulas de Educación Infantil.....	21
Introducción.....	21
Secuencia didáctica: Imanes.....	22
CAPÍTULO 3	
La Teoría de la Variación como herramienta de planificación pedagógica	27
Introducción.....	27
Método	30
Conclusiones.....	33

RESUMEN

Durante los últimos años, la investigación educativa ha arrojado resultados positivos acerca de la utilización de enfoques de enseñanza STEM integrados para abordar el estudio de las ciencias de manera holística y contextualizada. Una incorporación que desde las primeras etapas educativas contribuye al desarrollo competencial de los niños y niñas. Sin embargo, a pesar de estos resultados, la aplicación real de estos enfoques en las aulas escolares es puntual. Los docentes, en general, tienen escasos conocimientos de los resultados de la investigación educativa acerca de las capacidades del alumnado, sus formas de aprender, o de las aportaciones que determinadas formas de abordar los procesos de enseñanza ofrecen al aprendizaje. Con el objetivo de revertir esta situación, este trabajo, enmarcado dentro del proyecto europeo botSTEM, busca favorecer la aplicación de enfoques de enseñanza STEM integrados en educación infantil, a través de la colaboración activa con los maestros y maestras en el diseño e implementación de secuencias didácticas STEM, gracias a la utilización de la Teoría de la Variación como herramienta de planificación pedagógica. Este objetivo será abordado a través de la presentación de un estudio preliminar de carácter cualitativo desarrollado con 8 maestros y maestras de educación infantil distribuidos en dos centros escolares situados en la ciudad de Burgos y cuyos resultados han permitido plantear el diseño de un futuro estudio interrumpido por la crisis sanitaria del COVID-19.

Palabras clave: Teoría de la Variación, objeto de aprendizaje, enseñanza STEM integrada, docentes de educación infantil y proceso de enseñanza-aprendizaje.

ABSTRACT

In recent years educational research has yielded positive results about the use of integrated STEM teaching approaches to address the study of science in a holistic and contextualized way. Incorporation that contributes to the development of students skills from early educational stages. However, despite these results, the actual implementation of these approaches in school classrooms is isolated. Teachers, in general, have little knowledge of the results of educational research

about the abilities of students, their ways of learning, or the contributions that certain ways of addressing teaching processes offer to learning processes. With the aim of reversing this situation, this study, framed within the European botSTEM project, seeks to promote the application of integrated STEM teaching approaches in early childhood education, through active collaboration with teachers in the design and implementation of STEM activities, thanks to the use of Variation Theory as a pedagogical planning tool. This objective will be addressed through the presentation of a preliminary qualitative study carried out with 8 teachers of early childhood education from two schools located in the city of Burgos. The results obtained in this initial study have allowed the design of a new future study interrupted by the COVID-19 health crisis.

Key words: Variation Theory, object of learning, integrated STEM education, in service preschool teachers and learning-teaching process.

TABLA DE MODIFICACIONES

<p>Inicialmente, la configuración prevista para este TFM constaba de dos estudios empíricos. En el primero de los casos la intervención no fue realizada como parte de este trabajo, ya que se produjo durante el curso 2018/2019, pero sí la interpretación de los datos recopilados durante la misma. Trabajo desarrollado durante los meses de diciembre de 2019 y enero de 2020.</p> <p>El diseño del segundo estudio, planteado a partir de las conclusiones extraídas en el primer estudio, sí iba a contar con el desarrollo de una intervención que finalmente no ha podido llevarse a cabo por la excepcional situación provocada por el COVID-19.</p>		
	PREVISTO INICIALMENTE	CAMBIOS INTRODUCIDOS POR LA CRISIS DEL COVID-19
TIPO DE ESTUDIO	<p>Estudio empírico 1: Cualitativo-Estudio de caso, dentro de una investigación de diseño</p> <p>-----</p> <p>Estudio empírico 2: Cualitativo-Estudio de caso</p>	<p>Estudio empírico 1: Cualitativo- Estudio de caso, dentro de una investigación de diseño</p> <p>-----</p> <p>Revisión bibliográfica</p>
INTERVENCIÓN	<p>Estudio empírico 1: No</p> <p>-----</p> <p>Estudio empírico 2: Sí</p>	<p>Estudio empírico 1: No</p> <p>-----</p> <p>Estudio empírico 2: No</p>
PREGUNTAS/OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	<p>Estudio empírico 1: Analizar el proceso de enseñanza-aprendizaje en las implementaciones de actividades didácticas del proyecto botSTEM en España utilizando la Teoría de la Variación.</p> <p>-----</p> <p>Estudio empírico 2: Conocer cómo influye en la práctica y en la autoconfianza de los maestros y maestras de preescolar la reflexión sobre el objeto de aprendizaje durante el proceso de enseñanza-aprendizaje al implementar una actividad STEM integrada.</p>	<p>Estudio empírico 1: Analizar el proceso de enseñanza-aprendizaje en las implementaciones de actividades didácticas del proyecto botSTEM en España utilizando la Teoría de la Variación.</p> <p>-----</p> <p>Estudio 2: Conocer las aportaciones que ofrece la Teoría de la Variación al desarrollo y estudio del proceso de enseñanza-aprendizaje.</p>

<p style="text-align: center;">METODOLOGÍA (INSTRUMENTOS, MUESTRAS, ETC.)</p>	<p>Estudio empírico 1: <u>Instrumentos</u> Entrevistas y material de clase aportado por las docentes (vídeos y fichas del alumnado).</p> <p><u>Muestra</u> Ocho maestras y maestros de educación infantil de dos centros educativos de la ciudad de Burgos.</p> <p>-----</p> <p>Estudio empírico 2: <u>Instrumentos</u> Grupos de trabajo Observación no participativa</p> <p><u>Muestra</u> Tres maestras de educación infantil de un centro escolar de la ciudad de Burgos.</p>	<p>Estudio empírico 1: <u>Instrumentos</u> Entrevistas y material de clase aportado por las docentes (vídeos y fichas del alumnado).</p> <p><u>Muestra</u> Ocho maestras y maestros de educación infantil de dos centros educativos de la ciudad de Burgos.</p> <p>-----</p> <p>Estudio 2: El conocimiento del estado del arte se realiza mediante una revisión sistemática de la literatura sobre la temática objeto de estudio.</p>
---	---	---

INTRODUCCIÓN

La investigación presentada en este Trabajo Fin de Máster (en adelante, TFM) trata de profundizar en el análisis de los procesos de enseñanza STEM integrados y su influencia en el aprendizaje del alumnado y se enmarca dentro del proyecto europeo: Robótica y Educación STEM para Niños/as y Escuelas Primarias (botSTEM). Este proyecto tiene por objetivo ofrecer a los docentes un marco didáctico, estrategias y recursos basados en la investigación, con el fin de facilitar la aplicación de enfoques de enseñanza STEM. Un enfoque STEM integrado puede definirse como aquel que, a partir de la resolución de problemas reales, permite un proceso holístico de enseñanza-aprendizaje, que facilita el desarrollo competencial del alumnado. En este caso, el proyecto botSTEM está enfocado específicamente para alumnado de entre 4 y 8 años (Greca, García-Terceño, Fridberg, Cronquist y Redfors, 2020) (Anexo I). El desarrollo del marco didáctico que fundamenta el proyecto botSTEM permitió el diseño de una serie de actividades que han sido puestas en práctica por docentes en activo, en centros educativos de España y Suecia, con resultados prometedores en la mejora de estos procesos de enseñanza-aprendizaje (Greca et al., 2020).

Esta apuesta por introducir enfoques STEM integrados en los primeros años de escolarización, tiene por objetivo principal crear espacios en los que los escolares puedan jugar, explorar y descubrir aquellos fenómenos que llaman su atención. De esta forma, con la guía de la maestra o maestro, pueden focalizar su atención en aquellas características y factores más relevantes de forma natural (van Keulen, 2018). Estos espacios de aprendizaje aprovechan la curiosidad de los niños y niñas para descubrir el entorno que les rodea (Engel, 2011; Eshach, 2006; Helm y Katz, 2016) e impulsar su desarrollo competencial en áreas científico-tecnológicas aprovechando su capacidad para formular preguntas, (Yıldırım, 2020), razonar, manipular (Buchter, Kuchskar, Oh-Young, Weglarz-Ward y Gelfer, 2017) y poner en práctica soluciones creativas a los problemas que les plantea el entorno (Torres-Crespo, Kraatz y Pallansch, 2014). Además, los resultados cosechados en múltiples investigaciones desarrolladas en las últimas décadas muestran las potentes competencias cognitivas y de aprendizaje de los niños y niñas relacionadas con la aritmética, las relaciones causa-efecto y algunas pre-

concepciones científicas (Brenneman, 2011; Gelman y Brenneman, 2004), lo que permite sin duda, aplicar de una manera adecuada enfoques de enseñanza STEM integrados.

Este propicio escenario contribuye al desarrollo cognitivo, afectivo y psicomotor de los escolares, al aprendizaje del conocimiento científico, a sus futuros logros académicos y al desarrollo de la capacidad de análisis crítico, como resume Yildirim (2020) tras una revisión de la literatura existente que fundamenta su estudio sobre el abordaje de la enseñanza STEM. Cabe destacar que la promoción de un aprendizaje significativo en ciencias influye, además de en su aprendizaje, en el interés y en las creencias hacia el aprendizaje del conocimiento científico (Mantzicopoulos, Patrick y Samarapungavan, 2013), elementos centrales para el desarrollo de actitudes positivas hacia las áreas científico-tecnológicas.

Sin embargo, a pesar de los resultados obtenidos en relación a las capacidades del alumnado de infantil y de los beneficios de introducir enfoques de enseñanza STEM, la investigación sugiere que su incorporación o rechazo está íntimamente unido a la visión de los docentes sobre los niños y niñas, la ciencia y su familiarización con las metodologías de enseñanza (Areljung, 2019). A esto además hay que sumarle, la escasa formación que reciben en este campo durante su preparación previa como maestros y maestras, en particular en educación infantil (DeJarnette, 2018) y las negativas actitudes hacia la educación en áreas científico-tecnológicas (Jamil, Linder y Stegelin, 2018) por la inseguridad que esta falta de formación les supone. Todo ello, parece estar directamente relacionado con los pocos espacios educativos que ofrecen a los niños y niñas de educación infantil y primeros años de la escuela primaria, experiencias STEM ricas y estimulantes (Brenneman, Lange y Nayfeld, 2019).

Esta desconexión entre el conocimiento generado en la investigación y su escaso impacto en las prácticas docentes, plantea una serie de incógnitas que deben ser despejadas. Encontrar vías de actuación que permitan la transferencia, aplicación y adaptación de los resultados a las aulas, debe ser una cuestión prioritaria para poder alcanzar uno de los verdaderos objetivos de la investigación educativa, mejorar el aprendizaje de los estudiantes (Vikström, 2014).

En este sentido:

La Teoría de la Variación (Marton y Booth, 1997; Marton y Pang, 2006; Marton y Tsui, 2004) representa un marco teórico que puede guiar a los docentes en su práctica para averiguar qué se debe hacer para proporcionar a los estudiantes las oportunidades de aprendizaje necesarias. (Vikström, 2014, p. 711)

En este contexto, y teniendo como marco de referencia el proyecto europeo previamente citado, los objetivos de este TFM se centran en:

- Analizar el proceso de enseñanza-aprendizaje en las implementaciones de actividades didácticas del proyecto botSTEM en España utilizando la Teoría de la Variación.
- Conocer las aportaciones que ofrece la Teoría de la Variación al desarrollo y estudio del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Parte del trabajo que aquí se presenta ha sido aceptado para ser publicado, por lo que el abordaje de los objetivos planteados se organiza en torno a tres capítulos. En primer lugar, el capítulo 1 tiene por objetivo conocer el estado del arte, mediante una revisión sistemática de la literatura, de las aportaciones de la Teoría de la Variación como herramienta de planificación pedagógica. A continuación, en el capítulo 2 se presenta un artículo ya aceptado por el congreso ICEUTE 2020 (International Conference on European Transnational Educational) y que será publicado en la serie *Advances in Intelligent Systems and Computing*, de la editorial Springer (Anexo II). Dicho artículo es un estudio empírico preliminar de la aplicación de la Teoría de la Variación para el análisis del proceso de enseñanza-aprendizaje en la aplicación de actividades STEM integradas, diseñadas para el proyecto europeo botSTEM en educación infantil en España. La intervención se desarrolló durante el curso 2018/2019, pero el análisis de los datos ha sido desarrollado entre los meses de diciembre de 2019 y enero de 2020 por la autora de este trabajo como parte de la investigación que en este TFM se presenta.

Inicialmente, esta primera aproximación iba a servir como base para el desarrollo de un segundo estudio en el que, aplicando la Teoría de la Variación como norteadora del proceso de enseñanza, la coordinación con los docentes antes, durante y después de la implementación iba a ser más estrecha y el análisis más exhaustivo. Sin embargo, la situación provocada por el COVID-19 ha impedido que este trabajo se desarrollase en su totalidad. Por lo que finalmente, en el capítulo 3 se presenta la planificación del segundo estudio inicialmente planteado para este TFM y las conclusiones generales alcanzadas. Por último, indicar que las referencias bibliográficas utilizadas se recogen al final de cada uno de los capítulos con el fin de facilitar su búsqueda.

Referencias bibliográficas

- Areljung, S. (2019). Why do teachers adopt or resist a pedagogical idea for teaching science in preschool? *International Journal of Early Years Education*, 27(3), 238-253.
- Brenneman, K. (2011). Assessment for preschool science learning and learning environments. *Early Childhood Research & Practice*, 13(1).
- Brenneman, K., Lange, A., y Nayfeld, I. (2019). Integrating STEM into preschool education; designing a professional development model in diverse settings. *Early Childhood Education Journal*, 47(1), 15-28.
- Buchter, J., Kuchskar, M., Oh-Young, C., Weglarz-Ward, J., y Gelfer, J. (2017). Supporting STEM in Early Childhood Education. *Policy Issues in Nevada Education*, 1-12.
- DeJarnette, N. K. (2018). Implementing STEAM in the early childhood classroom. *European Journal of STEM Education*, 3(3), 18.
- Engel, S. (2011). Children's need to know: Curiosity in school. *Harvard Educational Review*, 81(4), 625–645.
- Eshach, H. (2006). *Science literacy in primary schools and preschools*. Dordrecht: Springer.

- Gelman, R., y Brenneman, K. (2004). Science learning pathways for young children. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 150-158.
- Greca, I. M., García-Terceño, E. M., Fridberg, M., Cronquist, B., y Redfors, A. (2020). Robotics and Early-years STEM Education: The botSTEM Framework and Activities. *European Journal of STEM Education*, 5(1), 1-13.
- Helm, J., y Katz, L. (2016). *Young investigators: The project approach in the early years*. New York: Teachers College Press.
- Jamil, F. M., Linder, S. M., y Stegelin, D. A. (2018). Early childhood teacher beliefs about STEAM education after a professional development conference. *Early Childhood Education Journal*, 46(4), 409–417.
- Mantzicopoulos, P., Patrick, H., y Samarapungavan, A. (2013). Science literacy in school and home contexts: Kindergarteners' science achievement and motivation. *Cognition and Instruction*, 31, 62–119.
- Torres-Crespo, M. N., Kraatz, E., y Pallansch, L. (2014). From fearing STEM to playing with it: The natural integration of STEM into the preschool classroom. *Journal of the Southeastern Regional Association of Teacher Educators*, 23(2), 8-16.
- van Keulen, H. (2018). STEM in Early Childhood Education. *European Journal of STEM Education*, 3(3), 6.
- Vikström, A. (2014) What Makes the Difference? Teachers Explore What Must be Taught and What Must be Learned in Order to Understand the Particulate Character of Matter. *Journal of Science Teacher Education*, 25(6), 709-727,
- Yıldırım, B. (2020). Preschool STEM Activities: Preschool Teachers' Preparation and Views. *Early Childhood Education Journal*, 1-14.

CAPÍTULO 1

LA TEORÍA DE LA VARIACIÓN Y EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

INTRODUCCIÓN

Para comenzar este capítulo, a continuación se presenta una interesante reflexión compartida por Marton, Runesson y Tsui (2004) acerca de la realidad escolar. Las discusiones acerca del buen devenir del sistema educativo, suelen derivar en la defensa férrea de posiciones y opiniones que sin duda apuestan por mejorar las escuelas: “deberíamos trabajar más por proyectos, deberíamos tener más aprendizaje entre pares, el alumnado debería tener más tarea, el alumnado debería tener menos tarea” (p. 3). Todas estas propuestas, en ocasiones contrarias, afirman tener un objetivo común, incentivar el aprendizaje de los escolares. Pero, ¿qué aprendizajes? ¿Todos? “El hecho es que es muy poco probable que haya una forma particular de organizar el aprendizaje que sea propicia para todo tipo de aprendizajes” (p. 3). Por ello, inicialmente debemos preguntarnos, qué es lo que queremos que los escolares aprendan.

Una vez identificado y acotado el contenido específico, denominado objeto de aprendizaje, la clave reside en la capacidad de los docentes para que dicho contenido sea asequible para los estudiantes (Pong y Morris, 2002, citado por Ling, Chik y Pang, 2006). “Al planificar una lección o una unidad, se debe prestar atención a las formas en que los contenidos del aprendizaje son tratados y representados en el aula” (Ling, Chik y Pang, 2006, p. 2). La investigación educativa arroja muchos resultados que pueden ser interesantes para la práctica docente de maestras y maestros, el problema sin embargo, radica en la desconexión de dichas teorías y resultados y la práctica docente (Vikström, 2014).

La Teoría de la Variación representa un modelo de aprendizaje que surge como alternativa a las teorías de aprendizaje convencionales, con el objetivo de poder servir de guía en el proceso de enseñanza, gracias a la identificación de las condiciones necesarias para que se produzca el aprendizaje (Ling y Marton, 2012). Estas condiciones fueron establecidas por Marton y Pang (2006) en un estudio en el que sostienen que los resultados del aprendizaje están íntimamente relacionados con la forma en la que el objeto de aprendizaje es abordado y

presentado en relación a patrones de variación. Es decir, en relación a las oportunidades ofrecidas a los estudiantes para percibir qué dimensiones, cualidades y relaciones del objeto de aprendizaje se mantienen constantes y cuáles varían en función de la situación en la que se presenta. Sin embargo, la organización del aprendizaje (trabajo por proyectos, aprendizaje entre pares, uso de la tecnología, etc.) es considerada como un elemento secundario en el aprendizaje.

Esta teoría de aprendizaje tiene su origen en la fenomenografía, un enfoque de investigación centrado en el estudio cualitativo de los procesos de enseñanza-aprendizaje en entornos educativos (Lam, 2019). Bajo este enfoque, los estudios de investigación buscan alcanzar un objetivo común: “investigar las formas cualitativamente diferentes en que las personas entienden un fenómeno particular o un aspecto del mundo que les rodea” (Marton y Pong, 2005, p. 335). El hecho de conocer cómo los estudiantes perciben un fenómeno concreto, u objeto de aprendizaje, supone una ayuda importante para guiar a los docentes en el diseño e implementación de las actividades de enseñanza (Lam, 2019).

En definitiva, la tradición de la Teoría de la Variación basada en la fenomenografía, aúna la investigación relativa al proceso de enseñanza, centrada en los docentes, y la investigación en el campo de la psicología educativa que estudia principalmente el aprendizaje, el desarrollo y las características de los estudiantes (Svensson, 2016).

TEORÍA DE LA VARIACIÓN

La Teoría de la Variación postula que el aprendizaje siempre está dirigido hacia algo, un objeto de aprendizaje, ya sea un fenómeno, una habilidad o un conocimiento específico. Este objeto de aprendizaje a su vez, puede ser representado de forma analítica como objeto directo, entendido en términos de contenido (por ejemplo, los imanes); e indirecto, es decir, las capacidades que el alumnado debe desarrollar durante el proceso de aprendizaje (por ejemplo, la identificación de posibles aplicaciones). Ambos objetos son partes indisociables de un mismo elemento, por lo que ninguno de ellos por separado podría ser considerado el objetivo de aprendizaje. De esta manera, según Marton, Runesson

y Tsui (2004), el aprendizaje es un proceso en el que los estudiantes desarrollan la capacidad para percibir un objeto de aprendizaje desde diferentes perspectivas; es decir, el aprendizaje requiere de un cambio cualitativo en la forma de experimentar o percibir dicho fenómeno. De tal forma, que la diferencia entre un experto y un novato radica en la manera en la que perciben/entienden una situación novedosa (Marton y Pang, 2006). Si una alumna durante sus clases de matemáticas ha visto representadas las variables algebraicas con letras y símbolo elegidos aleatoriamente, es más probable que sea capaz de percibir las como tal cuando se enfrente por primera vez a fórmulas físicas como la Ley de Ohm $U=R \times I$, que una alumna que solo ha visto expresiones algebraicas representadas con la letra x (Kullberg, Kempe y Marton, 2017).

La experimentación de un objeto de aprendizaje implica la toma de conciencia de ciertas características que lo componen, los denominados aspectos críticos, que deben ser diferenciados de forma simultánea, en contraste con otros aspectos que varían. Si tomamos un triángulo, podemos identificar que el resultado de la suma de sus ángulos es un aspecto crítico, así como el número de lados que lo componen; sin embargo, no lo es la suma total de las longitudes de los lados. Es decir, necesariamente un triángulo debe tener tres lados y la suma de sus ángulos debe ser 180° , si no dejaría de ser un triángulo para ser cualquier otra figura. Sin embargo, puede tener cualquier perímetro. Sin esa identificación provocada por los patrones de variación el aprendizaje no puede producirse (Ling y Marton, 2012). Las condiciones necesarias de aprendizaje, por tanto, no pueden ser universalmente definidas, deben extrapolarse a partir de cada objeto de aprendizaje. En definitiva, la Teoría de la Variación no da soluciones fijas, sino que nos permite focalizar la atención en aquello que realmente es importante analizar y pone de relieve la figura de los aprendices como la mejor fuente de información para identificar las condiciones que posibilitarán el aprendizaje (Marton y Pang, 2006).

A nivel pedagógico, esta teoría permite a los docentes profundizar en el análisis de aquello que quieren enseñar. Permite identificar claramente cuáles son los aspectos críticos del objeto de aprendizaje, y de esta manera facilitar y guiar el diseño de una secuencia didáctica que dirija al alumnado hacia el objeto previsto

de aprendizaje, por lo que puede ser entendida como una herramienta de planificación pedagógica (Royea y Nicol, 2019). “La enseñanza es interactiva, y su éxito requiere un monitoreo continuo de esta interacción gracias a la cual, los docentes obtienen la información necesaria de los estudiantes para decidir el próximo movimiento durante una lección” (Marton y Pang, 2006, p. 218). El objeto y el proceso de aprendizaje son dinámicos, sin un análisis en profundidad, aquello que tenemos previsto enseñar, puede diferir de aquello que presentamos en el proceso de enseñanza, y por consiguiente también lo hará el aprendizaje del estudiante.

IMPLICACIONES PARA EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

La concepción del alumnado como sujeto epistémico, obliga a desterrar aquellos modelos de enseñanza centrados únicamente en la transmisión de conocimientos (Porlán-Ariza, 2018). El análisis del bagaje personal de cada individuo adquiere una relevancia crucial desde un punto de vista didáctico, las experiencias personales y los conocimientos previos son una parte incuestionable del proceso de aprendizaje (Jančič y Hus, 2019). Los aprendices tratan de construir nuevos modelos mentales a través de su propia percepción del mundo (Bada y Olusegun, 2015), a través de la experimentación de situaciones que pueden no ser percibidas de la misma manera por dos sujetos diferentes, y que por lo tanto, pueden derivar en significados distintos (Marton y Pang, 2006).

El abordaje de esta clara diversidad requiere de un conocimiento propio del contenido y de un conocimiento pedagógico sobre cómo enseñar. En palabras de Shulman (1987, citado por Deng, 2018) este conocimiento pedagógico se centra en “la capacidad de un maestro para transformar el conocimiento del contenido que posee en formas que son pedagógicamente poderosas y sin embargo, adaptables a las variaciones en la habilidad y los antecedentes presentados por los estudiantes” (p. 156). El proceso de enseñanza-aprendizaje no se basa en relaciones de causa-efecto (von Glasensfeld, 1995, citado por Bada y Olusegun, 2015), sino en el intercambio continuo de información entre el alumnado y el docente.

Esta perspectiva constructivista del aprendizaje comparte un marco epistemológico importante con la Teoría de la Variación, en concreto la Teoría del aprendizaje de Piaget puede considerarse como un precursor de la misma. Ambas teorías comparten ideas, aunque con terminologías diferentes, sobre cómo se estructura y genera el conocimiento. Sin embargo, aunque la Teoría de la Variación no profundiza en los procesos de desarrollo y maduración, ni en las motivaciones que impulsan el desarrollo, sí enfatiza y reflexiona específicamente sobre los aspectos didácticos del aprendizaje, aspecto que Piaget no aborda en su teoría (Hanfstingl, Benke y Zhang, 2019).

Las decisiones pedagógicas que toman los docentes son determinantes en el aprendizaje de los estudiantes. Por ello, las estrategias didácticas escogidas deben tener siempre en cuenta las estrategias de aprendizaje del alumnado, así como la naturaleza del objeto susceptible de ser aprendido. “Cualquier fenómeno muestra diferentes aspectos. Puede entenderse de formas diferentes en función de qué aspectos se perciben como esenciales” (Elliot, 2010, p. 232). Esta variabilidad supone en muchos casos que el alumnado no identifique los aspectos críticos y el aprendizaje se vea condicionado. Esta suele ser una situación común al tratar muchos objetos de aprendizaje, en particular en el caso de las ciencias, por ejemplo, cuando se estudian las fuerzas. El aspecto crítico inicial es que la acción de las fuerzas provoca un cambio de movimiento o deformación, no siendo crítico el agente que lo causa (imán, empuje, golpe, caída...). Posteriormente, sin embargo, los aspectos críticos cambiarán si el objetivo es que el alumnado adquiera competencias sobre imanes, un aspecto crítico es su actuación sobre ciertos metales, y no sobre otros.

Para ilustrar este hecho, tomamos como ejemplo el estudio desarrollado por Ling, Chik y Pang (2006) en el que dos maestros trabajaron junto a un grupo de investigación en el diseño e implementación de una práctica docente aplicando patrones de variación. El objeto de aprendizaje seleccionado fue el estudio desde una perspectiva científica de los colores que forman la luz blanca a través del arcoíris. Los docentes analizaron el fenómeno y las pre-concepciones del alumnado adquiridas en sus experiencias previas, para identificar los aspectos sobre los que focalizar la atención en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Durante este proceso descubrieron que la mayor parte del alumnado relacionaba la formación del arcoíris con un prisma (objeto que permite la difracción de la luz), pero no con la luz blanca. En consecuencia, la identificación del prisma como una herramienta utilizada para descomponer la luz blanca en diferentes colores y no como objeto creador en sí mismo, fue uno de los aspectos críticos abordados.

Para alcanzar dicho objetivo, los docentes propiciaron las condiciones necesarias para que el alumnado percibiese los aspectos críticos a través de patrones de variación. De esta manera, mientras se utilizaban diferentes elementos, como pompas de jabón, gotas de agua, etc. para que el alumnado percibiese el prisma como una herramienta más, dos elementos permanecieron constantes: la luz blanca y el arcoíris. Focalizar la atención en el objeto de aprendizaje ayudó a los docentes a relacionar las posibilidades de aprendizaje del alumnado y sus prácticas, y de esta manera valoraron las necesidades del alumnado y sus formas de percibir y pensar. En otras palabras, los docentes tuvieron en consideración “sus formas intuitivas de comprensión, su dificultad en centrarse en las características esenciales de aquello que debe aprenderse y el no haber sido expuestos a experiencias de aprendizaje apropiadas” (Elliot, 2010, p. 230).

Estas premisas llevaron a Ling y Marton (2012) a afirmar que los problemas de aprendizaje no se relacionan directamente con la falta de capacidad de los estudiantes, sino con las dificultades para discernir entre los aspectos esenciales o críticos del objeto de aprendizaje y aquellos que no lo son. Por tanto, en mayor medida son los docentes los responsables de asegurar espacios de aprendizaje que les permitan experimentar el objeto de aprendizaje previsto y posibiliten que el aprendizaje se produzca (Ling, Chik y Pang, 2006). El análisis de los procesos de enseñanza-aprendizaje desde la Teoría de la Variación, tal y como ejemplifican Voon, Wong, Looi y Cheng (2020), evita caer en situaciones que interfieren en el aprendizaje, como no utilizar el error, dar prioridad al análisis de las semejanzas o evitar enseñar fenómenos de forma contextualizada.

En muchas ocasiones, los docentes utilizan los patrones de variación en sus prácticas y sin ser conscientes del marco teórico de la Teoría de la Variación despliegan los elementos esenciales que posibilitan el aprendizaje. Sin embargo,

la reflexión consciente acerca del objeto de aprendizaje evita que el aprendizaje sea un fenómeno azaroso (Marton y Pang, 2006), como así lo demuestran diferentes estudios de investigación que utilizan esta teoría como herramienta para el diseño de los procesos de enseñanza-aprendizaje en todas las etapas educativas y en diferentes áreas de conocimiento. Estas investigaciones se organizan en torno a un objeto de aprendizaje específico y su naturaleza dinámica. Por ello, el proceso de enseñanza-aprendizaje se analiza desde tres perspectivas:

1. Objeto de aprendizaje previsto: ¿Qué queremos que los estudiantes aprendan?
2. Objeto de aprendizaje presentado: ¿Cómo presentamos el objeto de aprendizaje en el aula?
3. Objeto de aprendizaje vivido: ¿Qué es lo que finalmente el alumnado aprende?

De acuerdo con la Teoría de la Variación para comenzar el proceso es necesario preguntarse ¿qué va a ser aprendido? Pregunta que debe ser respondida a partir de la interacción con el grupo de estudiantes con el que estamos trabajando, para poder identificar los aspectos críticos desde los que abordar el objeto de aprendizaje (Marton, Cheung y Chan, 2019). Esta parte es fundamental puesto que permite centrar las estrategias de enseñanza y que el aprendizaje final se corresponda con aquel que fue previsto inicialmente.

Siguiendo este esquema, Vikström (2014) junto a un grupo de docentes de secundaria utilizan la Teoría de la Variación para trabajar el concepto de materia. En este proceso, identifican que los aspectos críticos que deben ser abordados durante el proceso de enseñanza están relacionados con la naturaleza atómica y dinámica de la materia. Estas lagunas en el conocimiento del alumnado se relacionan con la tendencia a buscar una comprensión general de los contenidos a través de las semejanzas. De esta manera, el alumnado no sabe que los átomos forman parte de todo lo que nos rodea a excepción, por ejemplo, de la luz, ya que los conceptos de materia y energía son tratados de forma aislada; así como no son capaces de entender lo que ocurre con la disposición de los átomos cuando juntamos dos sustancias, porque las observaciones macroscópicas de lo

que ocurre con una disolución, no son acompañadas de explicaciones a nivel sub-microscópico. Siguiendo la Teoría de la Variación, para solventar estos problemas de comprensión los docentes trabajaron de forma simultánea los conceptos de energía y materia que permiten contextualizar ambos fenómenos y el análisis y comparación a nivel macroscópico y sub-microscópico de las disoluciones, lo que permite comparar y comprender "por qué 1 dl de agua + 1 dl de agua forman 2 dl, pero 1 dl de agua + 1 dl de sal solo forman 1,5 dl" (p. 720).

Otro ejemplo interesante es el presentado por Marton, Cheung y Chan (2019) sobre la redacción de textos argumentativos con niños y niñas de educación primaria. Al igual que en el estudio anterior, los docentes identifican los aspectos críticos del objeto de aprendizaje seleccionado, en este caso: la redacción de una introducción atractiva e interesante y la estructura del texto. A partir de aquí se observa cómo inicialmente los docentes basan sus actividades en aspectos de semejanza, para luego aplicar patrones de variación y aprovechar estos textos inicialmente escritos por los niños y niñas, para percibir las características de diferentes textos y los diferentes grados de aproximación al objeto de aprendizaje.

Los resultados obtenidos en estos estudios destacan una mejora en la comprensión de los objetos de aprendizaje cuando estos se presentan siguiendo patrones de variación. Además, los docentes involucrados definen la Teoría de la Variación como una herramienta útil para diseñar y analizar las unidades didácticas de una manera más sistemática. Así mismo, consideran que este análisis facilita la observación de los progresos de aprendizaje en los estudiantes.

Referencias bibliográficas

- Bada, S. O., y Olusegun, S. (2015). Constructivism learning theory: A paradigm for teaching and learning. *Journal of Research & Method in Education*, 5(6), 66-70.
- Deng, Z. (2018). Pedagogical content knowledge reconceived: Bringing curriculum thinking into the conversation on teachers' content knowledge. *Teaching and Teacher Education*, 72, 155-164.

- Elliot, J. (2010). El "estudio de la enseñanza y del aprendizaje": una forma globalizadora de investigación del profesorado. *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, 68, 223-242.
- Hanfstingl, B., Benke, G., y Zhang, Y. (2019). Comparing variation theory with Piaget's theory of cognitive development: more similarities than differences? *Educational Action Research*, 27(4), 511-526.
- Jančič, P., y Hus, V. (2019). Representation of teaching strategies based on constructivism in social studies. *International Journal of Innovation and Learning*, 25(1), 64-77.
- Kullberg, A., Kempe, U. R., y Marton, F. (2017). What is made possible to learn when using the variation theory of learning in teaching mathematics? *ZDM. Mathematics Education*, 49(4), 559-569.
- Lam, H. C. (2019). The phenomenography tradition in the study of classroom teaching, *International Journal of Research & Method in Education*, 42(5), 513-524.
- Ling, L. M., Chik, P., y Pang, M. F. (2006). Patterns of variation in teaching the colour of light to primary 3 students. *Instructional Science*, 34(1), 1-19.
- Ling, L. M., y Marton, F. (2012). Towards a science of the art of teaching. *International journal for lesson and learning studies*, 1(1), 7-22.
- Marton, F., Cheung, W. M., y Chan, S. W. (2019). The object of learning in action research and learning study. *Educational Action Research*, 27(4), 481-495.
- Marton, F., Runesson, U., y Tsui, A. B. M. (2004). The space of learning. En F. Marton y A. B. M. Tsui (Eds.), *Classroom discourse and the space of learning* (3-40). Nueva York: Routledge
- Marton, F., y Pang, M. F. (2006). On some necessary conditions of learning. *The Journal of the Learning sciences*, 15(2), 193-220.
- Marton, F., y Pong, W. Y. (2005). On the unit of description in phenomenography, *Higher education research & development*, 24(4), 335-348.

- Porlán-Ariza, R. (2018). Didáctica de las ciencias con conciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(3), 5-22.
- Royea, D. A., y Nicol, C. (2019). Pre-service teachers' experiences of learning study: learning with and using variation theory. *Educational Action Research*, 27(4), 564-580.
- Svensson, L. (2016). Towards an integration of research on teaching and learning, *Scandinavian Journal of Educational Research*, 60(3), 272-285.
- Vikström, A. (2014). What makes the difference? Teachers explore what must be taught and what must be learned in order to understand the particulate character of matter. *Journal of Science Teacher Education*, 25(6), 709-727.
- Voon, X. P., Wong, L. H., Looi, C. K., y Chen, W. (2020). Constructivism-informed variation theory lesson designs in enriching and elevating science learning: Case studies of seamless learning design. *Journal of Research in Science Teaching*, 1-23

CAPÍTULO 2

PRESENTACIÓN DEL PRIMER ESTUDIO EMPÍRICO SOBRE LA APLICACIÓN DE UNA SECUENCIA STEM INTEGRADA EN AULAS DE EDUCACIÓN INFANTIL

INTRODUCCIÓN

El artículo que se presenta y que puede ser revisado en el Anexo II en su versión original al final de este trabajo, forma parte del proyecto europeo botSTEM y en él se muestra una primera aproximación al estudio del potencial uso de la Teoría de la Variación como herramienta pedagógica para el desarrollo de actividades STEM integradas con alumnado de infantil. La participación de los docentes en el programa era voluntaria y su colaboración ha resultado de gran ayuda para analizar y comprender la realidad de la escuela de educación infantil, su funcionamiento, organización y aproximación a las áreas científico-tecnológicas.

La principal estrategia definida en el trabajo de colaboración que se llevó a cabo con las escuelas fue la cesión del protagonismo a las maestras y maestros que colaboraron en este estudio. Por su parte, las investigadoras adoptaron un rol activo de asesoramiento y apoyo constante durante el proceso, puesto que inicialmente el reto propuesto podía resultar abrumador. La adopción de nuevas formas de afrontar los procesos de enseñanza-aprendizaje desde nuevos enfoques y la falta de marcos pedagógicos que guíen la práctica docente, así como de un conocimiento claro acerca de lo que es y de lo que conlleva la educación STEM (Lederman y Lederman, 2013), podía generar inseguridad e incluso rechazo por parte de las maestras y maestros. Este acompañamiento asesorado del proceso siempre se planteó en torno a las decisiones de los docentes, ya que son ellos los conocedores de la realidad de sus aulas, de las características de los niños y niñas y de los recursos temporales, materiales, espaciales y organizativos con los que cuentan.

A diferencia de los estudios publicados y presentados como ejemplos en el capítulo anterior, la Teoría de la Variación en este caso fue utilizada principalmente como herramienta de análisis por parte del equipo de investigación, para conocer cómo las maestras y maestros se enfrentaban a la

puesta en práctica de una actividad STEM integrada. Los docentes no recibieron información específica sobre la Teoría de la Variación, salvo las preguntas que les ayudarían en el proceso de diseño e implementación de la actividad. La información recopilada acerca de su percepción sobre el tratamiento de las ciencias desde un enfoque de enseñanza STEM integrado y cómo abordaron el proceso de enseñanza-aprendizaje, se considera como el punto de partida para el diseño y desarrollo de un segundo estudio de investigación, el cual iba a ser presentado en este TFM pero que sin embargo, debido a la actual crisis sanitaria solo se expone como futura propuesta en el capítulo 3.

A continuación, y para contextualizar la investigación del artículo, se describe la secuencia didáctica específica sobre la que se trabajó y los resultados que sirvieron como referente para el diseño del segundo estudio.

SECUENCIA DIDÁCTICA: IMANES

La secuencia didáctica (Anexo III) sobre la que se asienta el trabajo que a continuación se expone, fue creada por la autora de este TFM y supervisada por expertas y expertos de la Universidad de Burgos y la Universidad de Kristianstad. Esta es una actividad diseñada a partir del marco pedagógico desarrollado por el grupo de investigación del Proyecto Europeo botSTEM (2018), actividad que requiere de la aplicación del conocimiento de todas las disciplinas STEM, aunque en este caso la ciencia asume un papel vertebrador (Honey, Pearson y Schweingruber, 2014).

Esta propuesta pone de relieve la importancia de generar espacios ricos y estimulantes que permitan a los niños y niñas experimentar un objeto de aprendizaje desde diferentes perspectivas. Este aspecto adquiere especial importancia en la etapa de educación infantil, puesto que debido a la corta edad de su alumnado, las oportunidades de haber tenido un contacto variado con el objeto de aprendizaje son reducidas. Además, como se apunta en el capítulo 1, aun habiendo disfrutado de experiencias relacionadas con los imanes, cada niño o niña puede haber focalizado su atención en diferentes aspectos del objeto.

La actividad diseñada (Figura 1), por tanto, es solo una propuesta; las maestras y maestros son los encargados de adaptarla según el contexto en el que se

encuentran. Por ello, otra de las características que define la actividad es la creación de momentos al comienzo de la actividad para que el alumnado pueda compartir sus experiencias personales y conocimientos acerca del objeto de aprendizaje que permitan a los docentes seleccionar los aspectos críticos sobre los que centrar el proceso de enseñanza. Sin embargo, esta comunicación bidireccional debe mantenerse de forma constante durante todo el proceso, de tal forma, que sirva de guía al docente en la elección de las estrategias más apropiadas que mantengan al niño o niña centrado en los aspectos esenciales que se están trabajando.

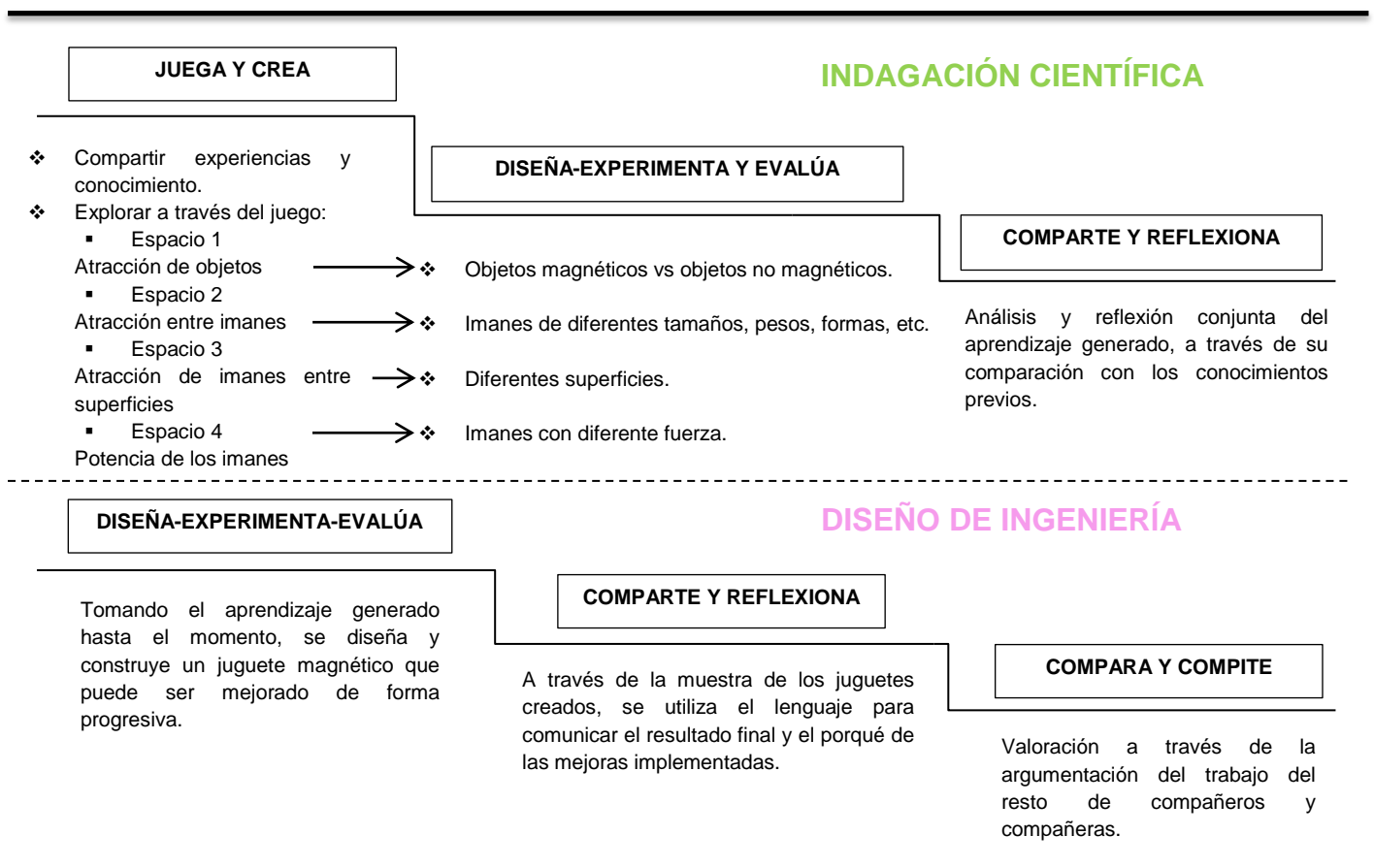


Figura 1. Esquema de la secuencia didáctica: imanes (Proyecto botSTEM, 2018)

En relación con la organización del proceso de enseñanza-aprendizaje por parte de los docentes, parece que trabajar el conocimiento científico-tecnológico desde un enfoque de enseñanza STEM integrado y utilizar la indagación y/o el proceso de ingeniería, permite con mayor facilidad aplicar patrones de variación al estudio del objeto de aprendizaje. Esto podría deberse a que, por la naturaleza del enfoque y las metodologías, se presentan situaciones contextualizadas que

requieren del uso de variables y el error siempre es considerado como un punto de inflexión a partir del cual conseguir una mejora. En el estudio que se presenta, el objeto de aprendizaje seleccionado por ambos grupos de trabajo fue la adquisición de conocimientos acerca de los imanes y su aplicación. Para ello, llevaron a cabo secuencias didácticas basada en las siguientes etapas:

- Zonas de juego en las que los niños y niñas puedan descubrir diferentes propiedades de los imanes, guiados por la maestra o maestro.
- Definición de las hipótesis para los experimentos simples.
- Experimentación.
- Registro de los resultados.
- Extracción de conclusiones.
- Creación de un juguete magnético.

Durante este proceso las maestras y maestros de forma intuitiva fueron redirigiendo la actividad para que el alumnado se centrara en los aspectos críticos que en cada momento se estaban trabajando: los objetos magnéticos y los no magnéticos, la polaridad de los imanes y su fuerza. Así lo muestra un episodio narrado por una de las maestras durante la reunión final con el grupo de trabajo y que se detalla a continuación. La maestra explica que cuando el alumnado se encontraba experimentando con los imanes y clasificando los materiales que eran atraídos por el imán y aquellos que no, uno de los niños focalizó su atención en una característica común que compartían todos los materiales, que hasta el momento, habían sido atraídos por el imán. De esta manera concluyó que los imanes atraían los objetos fríos. Evidentemente, su percepción del objeto de aprendizaje, aun no siendo correcta, era totalmente válida si valoramos el razonamiento planteado a partir de su propia experiencia. Sin embargo, otro de los compañeros concluyó que para que un imán atrajese un objeto este tenía que ser pesado. Podemos ver que, de una misma experiencia, emergieron varias percepciones, igualmente válidas, que la maestra debía tener en cuenta para poder redirigir el proceso de enseñanza-aprendizaje. Ante este hecho, la maestra introdujo en la experiencia objetos que contradijesen sus teorías y ayudase a los niños a focalizar la atención de nuevo en los aspectos esenciales y científicamente correctos.

Los resultados derivados de este estudio preliminar son considerados de gran valía para profundizar en la perspectiva docente en relación con los enfoques de enseñanza STEM y los procesos de enseñanza-aprendizaje que en ellos se producen. El planteamiento y diseño del segundo estudio ha tenido en cuenta principalmente, la forma en la que los docentes entienden la enseñanza STEM integrada a través de las decisiones tomadas durante el proceso de enseñanza-aprendizaje y su visión acerca de la viabilidad de su utilización.

En primer lugar, es relevante destacar que el análisis del proceso de enseñanza-aprendizaje desde la Teoría de la Variación mostró que los docentes de forma consciente focalizan su atención y esfuerzos casi de forma exclusiva en el aprendizaje conceptual de las ciencias, en este caso las propiedades de los imanes. Este hecho, aunque es comprensible puesto que la actividad desarrollada se construye en torno a un conocimiento específico del área de Ciencia, muestra una falta de comprensión sobre lo que conlleva la educación STEM integrada. De esta forma, inconscientemente, no profundizan en otros aprendizajes (metodología de indagación científica, aspectos epistemológicos y conocimientos de otras disciplinas STEM) que también han sido trabajados de forma indirecta gracias a la secuencia didáctica basada en la indagación utilizada. Secuencia que en cierta medida ha permitido desplegar las condiciones necesarias que posibilitan el aprendizaje de los niños y niñas, descritas en la Teoría de la Variación. Esto nos lleva a plantearnos la necesidad de profundizar en el análisis de lo que implica el objeto de aprendizaje y la educación STEM integrada.

En esta misma línea, las estrategias adoptadas por las maestras y maestros durante la presentación del objeto de aprendizaje, cuando han identificado una desconexión entre aquello que pretendían enseñar y lo que el alumnado estaba percibiendo, también ha sido considerado como un aspecto relevante sobre el que profundizar. Conocer y reflexionar sobre qué factores pueden afectar al entendimiento común de una misma experiencia, puede ayudar a su identificación y solución de forma más efectiva.

En segundo lugar, nos detenemos en el cambio detectado en la percepción de los docentes sobre la aplicación de actividades STEM integradas. Durante el primer encuentro, los maestros y maestras se mostraban reticentes e incluso

escépticos acerca de la viabilidad de su puesta en práctica y sus beneficios. Al finalizar, sin embargo, su disposición era más abierta y expresaron su satisfacción al comprobar los beneficios que su aplicación había reportado tanto en el alumnado como en ellos mismos. Pero, a pesar de lo que se pudiera pensar, este cambio no impidió que algunos docentes se mostrasen aún reacios a su incorporación de forma estable en sus prácticas docentes. Entre otras, las causas que justificaban esta decisión se relacionaban con la percepción de una falta de competencia docente y de una limitada capacidad del alumnado de esta edad.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, así como la literatura sobre las estrategias de aprendizaje del alumnado y la ayuda que ofrece a los docentes la Teoría de la Variación, la pregunta que surge ahora es si un análisis más profundo y sistemático del/de los objeto/s de aprendizaje por parte de los docentes desde la Teoría de la Variación, facilitaría la comprensión global de un enfoque de enseñanza STEM, así como una ayuda que generase la confianza suficiente como para guiar el proceso de enseñanza-aprendizaje STEM.

Referencias bibliográficas

- Honey, M., Pearson, G., y Schweingruber, H. (Eds.). (2014). *STEM integration in K–12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. Washington, DC: National Academies Press.
- Lederman, N., y Lederman, J. (2013). Is it STEM or “S & M” that we truly love? *Journal of Science Teacher Education*, 24(8), 1237–1240.
- Proyecto Europeo BotSTEM. (2018). Educación en robótica y STEM para niños/as y escuelas primarias. Recuperado de <https://www.botstem.eu/es/toolkits/>

CAPÍTULO 3

LA TEORÍA DE LA VARIACIÓN COMO HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN PEDAGÓGICA

INTRODUCCIÓN¹

La literatura publicada acerca de la realidad de la educación STEM integrada y su escasa introducción en las aulas, en especial en los primeros años de escolarización, muestra una falta de formación que se ajuste a las necesidades de los docentes (DeJarnette, 2018). Hecho que lleva a las maestras y maestros de educación infantil a sentirse incompetentes a la hora de poner en marcha este tipo de actividades con garantías (Yildirim, 2018). Esta falta de confianza profesional acerca de la implementación de determinadas estrategias o enfoques de enseñanza (DeCoito y Myszkal, 2018), repercute directamente en la forma de preparar y desarrollar una actividad didáctica en el aula, por lo que si no se tienen en cuenta, el éxito de cualquier programa puede verse afectado (Hüttner, Dalton-Puffer y Smit, 2013). De este modo:

De acuerdo con la Teoría Cognitivo-Social de Bandura (1999), una persona se siente competente en la enseñanza cuando posee un conjunto de creencias y juicios sobre su habilidad para desempeñar con éxito las tareas vinculadas con la función docente. (Tschannen-Moran y Hoy, 2001, p. 105 citado por Burgueño, Sicilia, Alcaraz-Ibáñez, Lirola y Medina-Casabón, 2020)

En esta línea, Bandura plantea que las personas que se perciben como autoeficaces en una determinada tarea tenderán a comprometerse de manera más sólida con ella y a asumir los riesgos necesarios que faciliten superar cualquier reto que se les presente. Por el contrario, aquellas personas que no se ven capaces de afrontar una tarea, muestran niveles bajos de compromiso y motivación (Burgueño, Sicilia, Alcaraz-Ibáñez, Lirola y Medina-Casabón, 2019). Precisamente, el acompañamiento y asesoramiento de los maestros y maestras durante los procesos de enseñanza-aprendizaje que planteamos, busca en última

¹ Parte de la teoría incluida en la introducción de este capítulo ha sido extraída de los trabajos realizados en las asignaturas cursadas en el Máster en el que se enmarca este TFM.

instancia generar conocimiento, resolver sus dudas y estimular la confianza en sus competencias.

Como se ha indicado en el capítulo anterior, inicialmente la puesta en práctica de una de las actividades diseñadas es analizada desde un enfoque de enseñanza STEM integrado en el proyecto botSTEM, utilizando el marco teórico sobre la naturaleza dinámica del objeto de aprendizaje que además, sirvió de guía para los docentes a través de tres preguntas clave. A raíz de los resultados obtenidos en ese estudio acerca de la percepción de los docentes sobre la enseñanza STEM y su práctica para la implementación de abordajes STEM integrados, ahora se propone la repetición del proceso de una manera más exhaustiva, reforzando el trabajo de colaboración con las maestras implicadas para mejorar dichos aspectos (autoconfianza y la propia práctica).

Parte del diseño de esta nueva propuesta de investigación surge del encuentro con la doctora Marie Fridberg de la Universidad de Kristianstad, quien capitanea un programa de tres años que tiene por objetivo “desarrollar, implementar y estudiar la enseñanza de las ciencias con base a un modelo de ciencia teórica consensuado y aprendizaje colaborativo de investigación de procesos químicos y fenómenos físicos” en educación infantil (Fridberg, Jonsson, Redfors y Thulin, 2020, p. 4).

Este trabajo de investigación apuesta por la discusión y reflexión en grupos de trabajo formados por docentes de educación infantil acerca de un objeto de aprendizaje. Más concretamente, el análisis se focaliza en la comunicación verbal que se establece entre el alumnado y el maestro o maestra durante la presentación de dicho objeto. Estos intercambios comunicativos durante el proceso de enseñanza-aprendizaje ofrecen mucha información que permite a la maestra o maestro adecuar sus estrategias y redirigir la atención de los niños y niñas hacia el objeto previsto de ser aprendido, cuando esta no es la esperada. Pero, no se trata solo de que la atención de ambos agentes se dirija hacia un mismo objetivo, sino que además se establezca “un acuerdo en el diálogo sobre compartir perspectivas y participar en la misma actividad” (Fridberg et al., 2020, p. 3). Este tipo de comunicación se denomina intersubjetividad y su pérdida alerta de la necesidad de hacer un alto en el camino.

En la observación de una de las actividades que se llevaron a cabo en este programa, se identificaron diferentes momentos en los que la intersubjetividad se veía afectada. Uno de esos momentos se produjo cuando era presentada la purificación del agua como objeto de aprendizaje. Durante el proceso de enseñanza la maestra utilizó diferentes filtros (piedras, carbón y filtros de café) para tratar el agua. Una vez vertido parte del agua sucia por un embudo de piedras, lanzó una sencilla pregunta: ¿está limpia el agua? Para sorpresa de la maestra, los niños y niñas contestaron que sí, cuando en realidad el agua mostraba el mismo color marrón antes y después de pasar por el embudo. ¿Qué es lo que ocurre entonces si el alumnado está fijando la atención en el proceso de filtrado? El problema se centraba en la palabra ‘limpia’, como pudieron comprobar tras los gestos y explicaciones de uno de los niños que identificaba el agua como agente limpiador y no como objeto a ser limpiado. Por lo que de acuerdo a sus experiencias y conocimientos previos, es el agua el encargado de limpiar las piedras y no al revés. (Fridberg et al., 2020; Fridberg, Jonsson, Redfors y Thulin, 2019).

Para poder ser conscientes de esta posible pérdida de perspectivas comunes, el trabajo previo de análisis y reflexión conjunta entre docentes sobre aquello que queremos que el alumnado aprenda se torna fundamental. Esta preparación nos da la capacidad para identificar cuáles son las perspectivas de los niños y niñas con respecto al objeto de aprendizaje y cómo estas pueden favorecer o interferir en la comprensión de los aspectos críticos.

Partiendo de estos estudios, y de aquellos que muestran cómo los docentes que utilizan la Teoría de la Variación encuentran más facilidad para relacionar las estrategias de aprendizaje del alumnado con sus estrategias para enseñar (Vikström, 2014); así como para diseñar y guiar el proceso de enseñanza-aprendizaje (Royea y Nicol, 2019), se formula la siguiente pregunta de investigación que guía el proceso: ¿cómo influye en la práctica y en la autoconfianza de los maestros y maestras de preescolar la reflexión sobre el objeto de aprendizaje durante el proceso de enseñanza-aprendizaje al implementar una actividad STEM integrada?

MÉTODO

Enfoque de investigación

Este estudio, cuyo objetivo general es comprender las complejas relaciones que se establecen durante el proceso de enseñanza-aprendizaje entre los docentes, el alumnado y el conocimiento, se plantea un abordaje desde un enfoque de investigación cualitativo. Esta comprensión requiere sin duda de una descripción e interpretación basada en un análisis meticuloso de las protagonistas del estudio, de sus respuestas, de sus comportamientos, de sus creencias y actitudes (Chaverra-Fernández, Cortes y González, 2019).

Puesto que se trata de un estudio sistemático y en profundidad de los procesos de enseñanza-aprendizaje que se producen en torno a la figura de tres maestras, el estudio de caso es la metodología seleccionada para guiar el proceso de investigación. Su utilización permite un análisis del proceso y la identificación de los cambios que se producen, así como de los factores que lo provocan, resultados que pueden ser cotejados e interpretados con aquellos ya publicados en otros estudios relacionados (Simons, 2011).

Participantes

Para el desarrollo de este segundo estudio la muestra elegida está compuesta por tres maestras de educación infantil pertenecientes al mismo centro educativo. Sus conocimientos y experiencias previas acerca del enfoque de enseñanza STEM integrado y la Teoría de la Variación, se limitan a aquellos generados a partir de su colaboración con el proyecto botSTEM, en los mismos términos que los docentes protagonistas del estudio presentado en el capítulo anterior, aunque su trabajo se diseñó en torno a un objeto de aprendizaje diferente que ellas mismas seleccionaron.

Instrumentos

Teniendo en cuenta la naturaleza de este trabajo, los instrumentos seleccionados para la recopilación de datos son concretamente dos: la observación directa no participativa de las situaciones escolares en las que se desarrolla la actividad (tanto mediante vídeos, como de observación directa no participativa) y la

información recopilada a través del grupo de trabajo formado por las tres maestras que conforman la muestra y dos investigadoras.

Inicialmente, con el objetivo de ajustar y adaptar la propuesta de actividad planteada en torno al objeto de aprendizaje, la reunión del grupo de trabajo previa a la implementación de la actividad, se centra en dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué es lo que queréis que los niños y niñas aprendan? ¿En qué aspectos del objeto de aprendizaje vais a centrar la atención? ¿Desde qué otras perspectivas se puede entender el objeto de aprendizaje?
- ¿Cómo vais a presentar el objeto de aprendizaje? ¿Qué dificultades prevéis que pueden encontrar los niños y niñas? ¿Qué estrategias podrían ser utilizadas para solventar esas dificultades?
- ¿Qué comportamientos/acciones/habilidades consideráis que demostrarían que los niños y niñas han aprendido lo que pretendéis enseñar?

Posteriormente, la secuencia que se presenta al alumnado de infantil por las maestras es observada en directo por la autora de este trabajo. Con la intención de completar la información recogida en vivo y de poder realizar un análisis más exhaustivo, las sesiones son grabadas. La grabación tiene dos focos de atención: el conjunto de la clase y un grupo de niños y niñas en particular. Este grupo es seguido a lo largo de las sesiones y su selección es una decisión consensuada con las maestras.

Finalmente, durante la discusión y reflexión producida en la última reunión del grupo de trabajo, se analiza con las maestras cómo ha sido el trabajo con el objeto de aprendizaje. Se comparan las previsiones inicialmente planteadas, con las presentaciones del objeto de aprendizaje en cada uno de los casos y se analizan los momentos en los que la pérdida de intersubjetividad entre maestra y alumnado ponía en peligro el devenir de la secuencia, así como aquellos en los que se creaba una adecuada intersubjetividad entre niño/a y docente. Con ello se pretenden analizar y evaluar las estrategias utilizadas y las posibles mejoras.

El papel de las investigadoras durante las reuniones de los grupos de trabajo, no se limita a plantear las preguntas, sino que aportan la información y el

asesoramiento oportuno. Además, durante estas sesiones se anota la información verbal y no verbal de las integrantes del grupo que puedan aportar detalles interesantes y que no sean apreciables durante las grabaciones.

Procedimiento

Tras confirmar la colaboración con las tres maestras de educación infantil, estas hicieron llegar a la autora de este trabajo el tema sobre el que querían que versara la secuencia didáctica: el cine y el teatro. A partir de ahí se diseñó una actividad centrada en el conocimiento de las sombras y luces para la creación de un teatro o corto de sombras enmarcado dentro de un enfoque STEM integrado (Anexo IV).

Aunque serían posteriormente las maestras las que decidiesen sobre qué trabajar exactamente a través de la reflexión conjunta, se les ofreció una actividad que tuvo en cuenta algunas de las preguntas que guiarían la primera reunión del grupo de trabajo: ¿cuáles son los posibles objetivos de aprendizaje? ¿Cuáles son los posibles elementos críticos sobre los que trabajar? ¿Qué significa que han comprendido estos conocimientos? ¿Cómo queremos que aprendan? ¿Cómo queremos que apliquen el conocimiento adquirido al final? ¿Qué dificultades pueden encontrar los niños y niñas para generar conocimientos científicos sobre las sombras y la luz?

Ofrecer un ejemplo de actividad ya desarrollado fue considerado como una ayuda apropiada para que las maestras generasen uno acorde a sus necesidades y objetivos, como se pudo comprobar en el estudio preliminar sobre imanes previamente realizado. El número de sesiones anteriores a la presentación del objeto de aprendizaje no queda inicialmente establecido, puesto que su definición depende de las necesidades demandadas por las maestras. Estas sesiones de discusión fueron pensadas para crear un espacio de diálogo y reflexión entre las maestras y la investigadora guiadas por las preguntas indicadas previamente. Así mismo, el número de sesiones determinadas para poner en práctica la actividad tampoco pueden ser definidas, ya que esta información sería fijada dependiendo del diseño de actividad planteado.

Finalmente, los resultados y conclusiones alcanzados y compilados en este TFM durante este estudio, serían compartidos personalmente con las maestras que han participado de forma activa, así como con cualquier otro profesional del centro interesado.

CONCLUSIONES DEL TFM

La búsqueda de un camino común por el que transiten tanto la investigación educativa, como la práctica docente es un tema sobre el que debemos reflexionar de manera profunda. De nada sirve la acumulación de estudios de investigación, si los profesionales que trabajan en las escuelas y en las administraciones no conocen su contenido, así como tampoco son útiles trabajos de investigación no centrados en los problemas reales y particulares de las aulas. En ningún caso, trabajar de forma aislada va a permitir que la educación supere las dificultades a las que se enfrenta día a día y avance hacia la consecución de un sistema inclusivo y de calidad. Esta realidad no es desconocida ni eludida por una comunidad educativa que ya busca soluciones a través de una colaboración activa y compensada entre los profesionales que se dedican a la investigación y aquellos que ejercen su profesión en las aulas, que dé sentido a la investigación en este campo.

En la línea de estas investigaciones, nuestro objetivo desde el comienzo fue crear una relación equilibrada, siendo conscientes de que sin una colaboración activa entre ambas partes, el éxito del estudio se vería seriamente afectado. La perspectiva y comprensión que los maestros y maestras en activo tienen de la educación, así como el conocimiento de las oportunidades, limitaciones y necesidades del contexto en el que trabajan, asegura la coherencia y utilidad de los resultados cosechados en la investigación educativa.

De esta manera, la Teoría de la Variación también ha permitido reducir distancias entre las evidencias encontradas durante décadas de investigación y su incorporación real a las aulas. Esta teoría a priori sencilla, nos ha permitido otear de una manera holística los engranajes de la enseñanza y su relación con el aprendizaje desde una perspectiva didáctica.

Entender y reflexionar sobre el aprendizaje desde esta teoría, facilita la integración de estrategias de enseñanza que realmente tienen en cuenta la diversidad y las características personales de los estudiantes. Está claro que cada uno de nosotros percibimos y entendemos una situación novedosa en función de nuestras experiencias previas. Experiencias sin duda limitadas por nuestras características personales (físicas, cognitivas y emocionales) y por aquellas que definen nuestro contexto social, económico y cultural. Tener siempre presente este hecho va a posibilitar que se imponga un sistema educativo realmente equitativo e inclusivo que ofrezca espacios de aprendizaje que den respuesta a las necesidades personales de cada uno de los alumnos y alumnas.

Por último, este análisis también puede resultar muy provechoso para la formación de los futuros docentes (Royea y Nicol, 2019), ya que les permite encontrar sentido al conjunto de teorías sobre el aprendizaje que en ocasiones perciben como conocimientos poco útiles para la práctica, cuando en realidad son parte fundamental en ella. La reflexión centrada en un objeto de aprendizaje específico, ayuda en la mejora de la comprensión sobre lo que se quiere enseñar y por consiguiente, la toma de decisiones sobre las estrategias de enseñanza facilitará la creación de secuencias didácticas de mayor calidad, y no la mera acumulación de actividades justificadas con objetivos vagos y generales que no van a propiciar el aprendizaje de los estudiantes.

Referencias bibliográficas

Burgueño, R., Sicilia, Á., Alcaraz-Ibáñez, M., Lirola, M. J., y Medina-Casabón, J. (2020). Efectos del contenido de meta docente y la regulación motivacional académica sobre la creencia de eficacia docente del profesorado en formación inicial. *Educación XXI*, 23(1), 103-124.

Burgueño, R., Sicilia, Á., Medina-Casabón, J., Alcaraz-Ibáñez, M., y Lirola, M. J. (2019). Psychometry of the Teacher's Sense of Efficacy Scale in Spanish Teachers' Education. *The Journal of Experimental Education*, 87(1), 89-100.

- Chaverra-Fernández, B., Cortes, D. F. G., y González, E. (2019). El estudio de caso como alternativa metodológica en la investigación en educación física, deporte y actividad física. Conceptualización y aplicación. *Retos*, 35, 371-377.
- DeCoito, I., y Myszkal, P. (2018). Connecting Science Instruction and Teachers' Self Efficacy and Beliefs in STEM Education. *Journal of Science Teacher Education*, 29(6), 485-503.
- DeJarnette, N. K. (2018). Implementing STEAM in the early childhood classroom. *European Journal of STEM Education*, 3(3), 18.
- Fridberg, M., Jonsson, A., Redfors, A., y Thulin, S. (2019). Teaching chemistry and physics in preschool: a matter of establishing intersubjectivity. *International Journal of Science Education*, 41(17), 2542-2556.
- Fridberg, M., Jonsson, A., Redfors, A., y Thulin, S. (2020). The Role of Intermediary Objects of Learning in Early Years Chemistry and Physics. *Early Childhood Education Journal*, 1-11.
- Hüttner, J., Dalton-Puffer, C., y Smit, U. (2013). The power of beliefs: Lay theories and their influence on the implementation of CLIL programmes. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*, 16(3), 267-284.
- Simons, H. (2011). *El estudio de caso: teoría y práctica*. Madrid: Morata.
- Royea, D. A., y Nicol, C. (2019). Pre-service teachers' experiences of learning study: learning with and using variation theory. *Educational Action Research*, 27(4), 564-580.
- Vikström, A. (2014). What makes the difference? Teachers explore what must be taught and what must be learned in order to understand the particulate character of matter. *Journal of Science Teacher Education*, 25(6), 709-727.
- Yıldırım, B. (2018). Research on teacher opinions on STEM practices. *Journal of Education, Theory and Practical Research*, 4(1), 42-53.

Robotics and Early-years STEM Education: The botSTEM Framework and Activities

Ileana M. Greca Dufranc ¹, Eva M. García Terceño ¹, Marie Fridberg ², Björn Cronquist ²,
Andreas Redfors ^{2*}

¹ *Universidad de Burgos, SPAIN*

² *Kristianstad University, SWEDEN*

*Corresponding Author: andreas.redfors@hkr.se

Citation: Greca Dufranc, I. M., García Terceño, E. M., Fridberg, M., Cronquist, B. and Redfors, A. (2020). Robotics and Early-years STEM Education: The botSTEM Framework and Activities. *European Journal of STEM Education*, 5(1), 01. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/7948>

Published: April 17, 2020

ABSTRACT

botSTEM is an ERASMUS+ project aiming to raise the utilisation of inquiry-based collaborative learning and robots-enhanced education. The project outputs are specifically aimed to provide in- and pre-service teachers in Childhood and Primary Education and children four-eight years old, with research-based materials and practices that use integrated Science Technology Engineering Mathematics (STEM) and robot-based approaches, including code-learning, for enhancing scientific literacy in young children. This article presents the outputs from the botSTEM project; the didactical framework underpinning the teaching material, addressing pedagogy and content. It is a gender inclusive pedagogy that makes use of inquiry, engineering design methodology, collaborative work and robotics. The article starts with a presentation of the botSTEM toolkit with assorted teaching practices and finishes with examples of preliminary results from a qualitative analysis of implemented activities during science teaching in preschools. It turns out that despite perceived obstacles that teachers initially expressed, the analysis of the implementations indicates that the proposed STEM integrated framework, including inquiry teaching and engineering design methodologies, can be used with children as young as four years old.

Keywords: STEM, robotics, preschool

INTRODUCTION

STEM programmes are receiving increasing attention in the research literature, and decision makers are becoming interested in incorporating STEM approaches in formal education. This is because these approaches are considered efficient for developing scientific literacy for citizens and for increasing the number of young people choosing to study scientific-technological disciplines at the end of their compulsory schooling (EU, 2015; NRC, 2012, 2014). However, what can be understood as an integrated STEM approach is not clear. Nowadays, many different conceptions of curriculum integration for STEM coexist (Bybee, 2010) but only a few theoretical frameworks for teaching exist (Ortiz-Revilla et al., 2018), and the didactical guidelines are often not specific enough for teachers' implementation (Chu, Martin, and Park, 2019). Furthermore, most initiatives are addressed to teenagers, but recent research (Tytler and Osborne, 2012) points out that early childhood intervention could be very efficient. What is more, while children at elementary school often have an intrinsic interest in STEM content areas, a declining pattern in attitudes towards science has been found as the age of the students increase (Ali et al., 2013; Denessen et al., 2015; DeWitt and Archer, 2015; Said et al., 2016). Moreover, students from upper elementary

and middle school grades show negative attitudes towards the enjoyment of science lessons (Ali et al., 2013; DeWitt and Archer, 2015). Therefore, pre-primary and primary education stages constitute great opportunity for smoothing the way, and help generate positive attitudes to STEM.

The ERASMUS+ project *Robotics and STEM education for children and primary schools* (botSTEM) with partners in Spain (coordinators), Sweden, Italy and Cyprus that is reported on here, has developed a didactical framework for integrated STEM activities involving robotics for preschool and primary schools (children four-eight years old.). The project outputs are specifically aimed to provide in- and pre-service teachers in Childhood and Primary Education with a didactical framework and research-based and tested robotics activities designed to scaffold STEM-teaching. This article aims to present the project output and starts off by presenting the developed theoretical framework for the botSTEM integrative STEM approach. Then the process of searching for and collecting tested robotics practices, which have been, together with the developed framework, the basis for the development of new robotics activities is described. One example of the practices developed within botSTEM is presented in Appendix A. Finally, the research framework for ongoing implementation of botSTEM activities is described with some preliminary results given from qualitative analysis of implemented activities during STEM teaching scaffolded by robotics in preschools.

DIDACTICAL FRAMEWORK OF STEM AND ROBOTICS

STEM and Science

Two main themes are prominent in the botSTEM partners' stance on the goals of science education: science as an institution of liberal democracy, and science as a discipline composed of principles and processes that need to be mastered. There is often a tension between science education aimed at producing the next generation of professional scientists (Vision I), and science education aimed at equipping citizens with the knowledge and understanding of science that they need to participate in democratic decision making (Vision II) (Roberts, 2007). Countries, school districts, schools and even individual teachers differ in the relative weight that they give to each aspect, although it seems that many standards-based movements and organizations, such as EU, OECD and NRC support a combination of the two, which is also the main goal of the botSTEM project.

botSTEM is focusing on integrative STEM (Science - Technology - Engineering - Mathematics), which is a comprehensive approach merging the different content areas through active and participative methodology involving problem-based learning and collaborative projects. The objective of this approach, considered useful for all ages, is to achieve a STEM literacy that can be summarized as

“the ability to adapt to and accept changes driven by new technology work, to anticipate the multilevel impacts of their actions, to communicate complex ideas effectively to a variety of audiences, and perhaps most importantly, to find measured, yet creative, solutions to problems that are today unimaginable” (Lederman, 1998).

STEM education implies a higher level of integration than the treatment of the four content areas in the acronym defined separately. STEM can be considered a new discipline uniting all the included content areas in what has been called integrated STEM education (Zollman, 2012) - a form of crosscutting educational instruction that can develop competencies among students in an integrated and humanist manner (Ortiz-Revilla et al., 2018). It is worth stressing that even though practices from all content areas are required to support STEM learning, there is often one STEM area that plays a dominant role (Honey et al., 2014). Since education in early childhood should be preferably holistic, child centred, project- and problem-based, the integration of science, technology, engineering and mathematics fields creates valuable STEM experiences for children (Kermani and Aldemir, 2015; Toma and Greca, 2017).

Integrated STEM approaches imply several challenges for teachers. Making crosscutting STEM connections is not an easy task, requiring that teachers prepare lessons that allow students to understand how STEM knowledge is applied to real-world problems. To make these connections, teachers need to address both content and pedagogy. However, identifying exactly what content and pedagogy are is often complex and difficult (Dare et al., 2019). Even in the USA, where STEM approaches have been advocated since the nineties, few teachers have operationalized STEM education (Kelley and Knowles, 2016). Perhaps, many teachers consider designing and delivering interdisciplinary and multidisciplinary lessons require too much time and effort (Chu et al., 2019).

The framework proposed by botSTEM attempts to help teachers overcome these challenges, based on five ideas presented in the following. First, it is considered that integrative STEM education is more pertinent and viable for elementary school, because teachers teach most of the subjects to the same class. In goal-directed preschool, an integrated STEM approach fits well with the didactics of early childhood education that is at present applied in the classroom. Teachers need to be carriers of both knowledge of the content and updated skills on how

to generate situations that support the learning of their children (Fleer and Pramling, 2015; Thulin and Redfors, 2016). In the words of Fleer, “The challenge goes beyond content knowledge to teacher beliefs and pedagogy practices” (Fleer, 2009: 1074). Teachers’ attitudes to the content area is important and Fleer et al. (2014) have shown that teachers have unique possibilities by implementing a ‘sciencing attitude’, which fits in well with integrated STEM.

Second, in terms of methodologies, although several methodologies can be useful within this approach, the framework proposed is based on inquiry and engineering design methodology. Inquiry helps intertwine the different fields in STEM through real world problems. Working with inquiry-based STEM activities provides children with opportunities to practice skills such as reasoning, reflection, questioning, modelling, justifying decisions and communicating. In this framework, guided inquiry is used, (Bevins and Price, 2016; NRC, 2012) because it seems to be the best for four-eight years old children as well as it is the model that seems to provide the best learning results (Minner, Levy, and Century, 2010). Nevertheless, in many integrated STEM education programs, engineering design practices are increasingly emphasized (Kang, 2019), since design problems are all strongly related to the everyday world. Engineering often plays a central role as an ‘integrator’ that helps to contextualize student learning, providing rich contexts in which learning and the application of science and mathematics concepts and practices happen when students are actively looking for solutions (Kelley and Knowles, 2016).

Both methodologies imply collaboration, an essential part of an integrative STEM approach to teaching and learning. Collaboration emphasizes joint participation in the task, intellectual interdependence, and the co-construction of knowledge, making it difficult, and at times impossible, to identify the individual contributions in the final products. Collaboration demands careful preparation, because some students may not view peer-interaction or group work as a form of viable learning at all, but as a game. Effective communication in peer interaction also involves shared norms regarding turn taking; shared perceptions of the appropriate amount of overlap in verbal contributions and shared norms for the acceptance of different point of views, to reach consensus and make the process continue onwards. It is worth stressing that integrative STEM approaches require collaboration not only between children but also with teachers, who support the process by creating a “bridge” between the child’s previous experiences and the new focus of knowledge (Thulin and Redfors, 2016).

Third, in terms of contents, it is considered that the relation between theoretical scientific models and reality is central for the scientific processes. Observations and experiments are embedded in theory and therefore “Theory laden” (Hanson, 1958). Empirical and theoretical work is connected leading to construction and refinement of theories and theoretical models in an interactive process of discussions, experiments and observations in the science community (Adúriz-Bravo, 2012; Giere, 1988; Koponen, 2007). Communicating this in science class is part of making the nature of science (Erduran and Dagher, 2014; Lederman, 2007) explicit, which has been found central for the teaching of science. botSTEM activities focus on versatile theoretical models for talking about, predicting and explaining science phenomena pertinent to the selected age group (four-eight years old). Therefore, focus in the botSTEM project is on theoretical models connected to Big Ideas (Harlen, 2015), and to the everyday lives of the selected age group. Also related with contents, the approach adopted in this project, in consonance with the definition of technological literacy, refers to learning among children of the use of the tools that scientific professionals, mathematicians and engineers, employ. In this sense, children must learn to take data with appropriate tools (scales, tape measures, dynamometers, thermometers, chronometers, microscopes, test tubes, etc.) as well as the necessary tools to analyse such data (spreadsheets) and to present them (word processors). Through these activities, children should understand how technology shapes and is shaped by society.

The fourth idea is about how computational thinking (by means of robotics and/or code learning), an aspect discussed below, is regarded as valuable for its potential to teach logical thinking, problem solving and digital competence, and should be introduced at early childhood.

The fifth and final idea builds on that, given that girls in general are more negative towards technology and its development (Bøe et al., 2011; Henriksen et al., 2016), botSTEM pursues to establish gender inclusive teaching and learning activities for early childhood. Evidence suggests that gender-balanced curricula should strive to be contextualized in line with the interests of girls, linking abstract concepts to real-life situations, and use hands-on activities (UNESCO, 2017). Hence, inquiry and engineering design methodology are potentially useful methodologies, since they emphasize the use of scientific concepts in finding solutions to real-life problems. Also, complementary strategies should be adopted by the teachers, such as encouraging the participation of girls in the communication and reviewing group work to encourage girls to adopt an active role (Scutt et al., 2013).

Robotics, Computational Thinking and Coding

Since there are few articles that address principle-based framework for teaching educational robotics concepts for early childhood (Misirli and Komis, 2014), this aspect of the proposed framework will be dealt with more extensively. botSTEM concurs with the definition found in Wikipedia for robots and robotics:

A robot is a machine, especially one programmable by a computer, capable of carrying out a complex series of actions automatically. Robotics is an interdisciplinary branch of engineering and science that includes mechanical engineering, electrical engineering, computer science, and others. Robotics involves design, construction, operation, and use of robots, as well as computer systems for their perception, control, sensory feedback, and information processing. (Wikipedia, 2020)

Hence, integrated STEM education can be formulated in terms of robotics activities focusing on several, if not all, of the four content areas in STEM, and pertinent theoretical models of science. Robots are increasingly finding their way into classrooms, and Educational Robotics (Eguchi, 2017) is discussed as a transformational tool for learning computational thinking, coding, and engineering. According to Eguchi (2017) educational robotics is an effective learning tool for project-based learning where STEM, coding, computer thinking, and engineering skills can all be integrated in one project. Robotics provides opportunities for students to explore how technology works in real life, while giving them the opportunity to find new ways to work together to foster collaboration skills, express themselves using the technological tool, problem-solve, and think critically and innovatively. Most importantly, educational robotics provides a fun and exciting learning environment because of its hands-on nature and the integration of technology. The engaging learning environment motivates students to learn whatever skills and knowledge needed for them to accomplish their goals in order to complete the projects of their interest (Eguchi, 2017).

According to Wing (2006) computational thinking is a problem-solving skill-set rooted in computer science. The skill-set comprises solving problems, designing systems and understanding human behaviour. Computational thinking represents a type of analytical thinking, which is, according to Wing (2006), applicable to everybody, not just computer scientists. Generic skills like identifying patterns, breaking apart complex problems into smaller steps, organizing series of steps to provide solutions, etc, are put forward.

Coding is the action of putting together sequences of instructions and debugging, or problem solving and is often described as the new language of the digital society, needed to be understood by everyone in order to be able to interact in a culture and society heavily influenced by computer systems. Coding with robots shows children what they can create with technology, engaging children as producers and not merely consumers of technology (Bers, 2018). Bers (2018) suggests seven powerful ideas for early childhood computational thinking.

- Algorithms - a series of ordered steps taken in a sequence to solve a problem sequencing, such as for instance tying shoelaces. Understanding abstraction is central to understanding algorithms and its practice goes beyond computational thinking. Identifying what constitutes a step in the sequence is a matter of abstraction.
- Modularity - breaking down tasks or procedures into simpler units, engaging in decomposition. This can be practiced without computers, for instance when analysing the task of having a birthday party. What different tasks are involved? How detailed should the tasks be described? Inviting guests could for example be broken down further.
- Control structures - the order in which instructions are followed or executed. More advanced examples of control structures are repeat functions, loops, conditional events and nested structures. However, in the early childhood the key issue is familiarizing with patterns and realizing the relationship between cause and effect e.g. when you click the mouse and x does y, or when the robot detects light through its light sensor and the robot should beep.
- Representation - sort and manipulate data and values in different ways. Concepts can be represented by symbols, e.g letters can represent sounds, numbers represent quantities, programming instructions represent behaviours. Different types of things have different types of attributes, e.g cats have whiskers. In addition, data types have different functionalities, e.g numbers can be added, letters can string together. To code, children need to understand that programming languages use symbols to represent actions.
- Hardware/software - computing systems need hardware and software to operate, where the software provides instructions to the hardware. Robots are mainly visible hardware but some components might be hidden, e.g. circuit boards. Children need to understand that hardware is programmed to perform a task and many devices can be programmed, not just computers.

These five powerful ideas have their origin in computer science and are all strongly linked to foundational concepts in early childhood education. However, Bers (2018) puts forward two more powerful ideas concerning processes and habits of mind; debugging and the design process.

- Design process - an iterative process used to develop programs and tangible artefacts. Bers (2018) suggests a series of steps defining a design process adapted for children, where the design process is a cycle: there is no official starting or ending point. The steps are; ask, imagine, plan, create, test and improve, share.
- Debugging - allows us to fix our programs using testing, logical thinking and problem solving. Once children understand how to debug their systems, they start to develop common troubleshooting strategies that can

be used on a variety of computing systems. Things do not just happen to work on the first try, but many iterations are usually necessary to get it right.

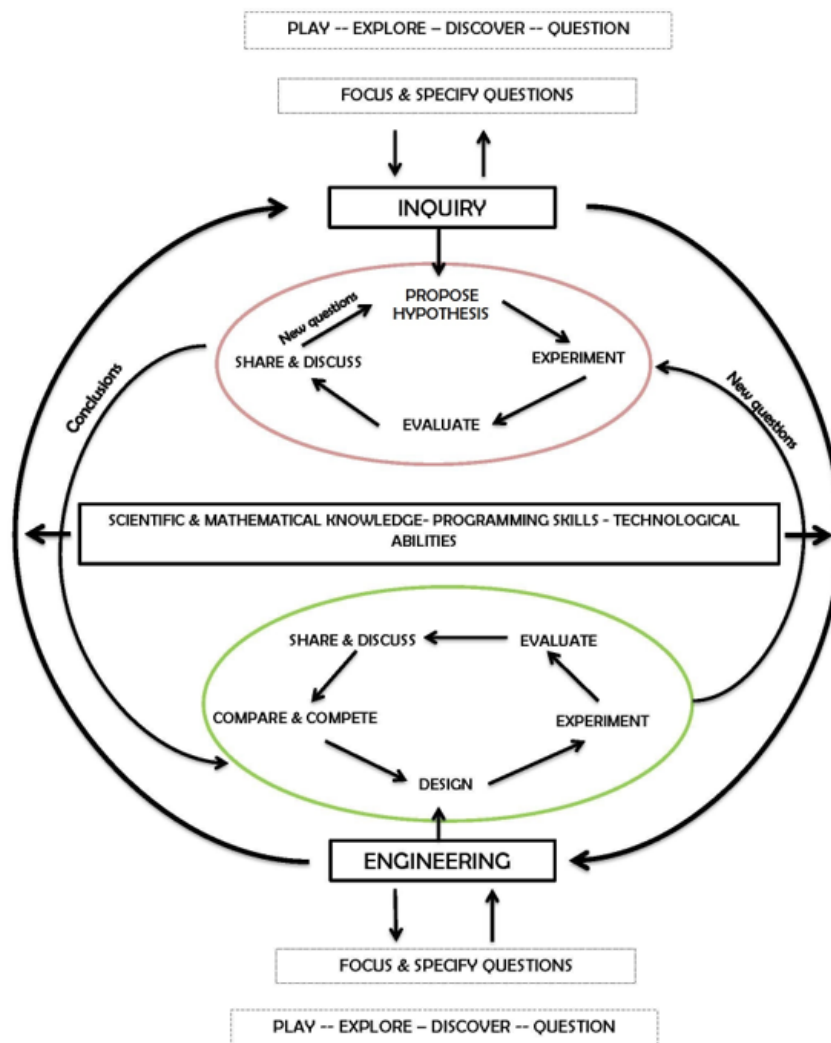


Figure 1. botSTEM didactical model developed for introducing integrated STEM education at elementary grades. Inspired by Chalufour & Worth (2004)'s cycle of inquiry.

Summing up, the didactical framework for underpinning the didactical material addresses pedagogy and content within an integrated STEM education: a gender inclusive pedagogy that makes use of inquiry, engineering design methodology, collaborative work, robotics and a scientific content that relates to Harlen's science big ideas and coding.

The Didactical Model Proposed in the botSTEM Project

The ideas shaping the botSTEM framework have been organized in a didactical model, shown schematically in **Figure 1**, that makes use of inquiry teaching and engineering-design methodologies. Both methodologies imply a certain number of steps and research suggests that young children can follow both, although some adjustments must be made. Inquiry teaching and engineering design are about questions, but, as Chalufour and Worth (2004) note, it is difficult for children to ask questions about something they have neither seen, nor touched, nor experienced. These authors propose that it is very important for young children first to engage, notice, wonder and question. That is, to be given time to play in a scientifically stimulating environment. It is therefore considered necessary to create these rich environments to stimulate children's questions, as can be seen in **Figure 1**. These environments can be created bringing to class objects, toys or through playful activities related with the topic that is going to be addressed for children that interact with them. As many of the emergent questions may not be investigated, the role of the teacher is to focus observation and to clarify questions.

Next, our STEM model consists of three phases, each designed to encompass more than one STEM discipline. Thus, in the first phase, teachers propose an engineering-based real-world problem, based on children's observations and questions that serves as a context to teach science-related content matter. During the second

phase students perform a guided inquiry (Martin-Hansen, 2002) in which, among other tasks, the students conduct different experiments using scientific practices and technology, in order to apprehend the knowledge necessary to solve the initial problem. The third and final phase (the problem resolution) requires the design or implementation of a technological solution for the initial problem. In this way, students begin to explore engineering design, linking engineering and science, as proposed in NRC (2012). It is worth stressing that the teacher can begin a cycle through a guided inquiry, for example, if children are curious about why oil and water do not mixture, a lava lamp can be proposed as a challenge. As appears in **Figure 1**, simplified steps are proposed in both methodologies. In the case of inquiry, propose hypothesis, experiment, evaluate, share and discuss. Since teachers are proposed to work with both methodologies, the conclusion step from the inquiry phase is an input of the engineering design methodology. The steps of the engineering design methodology are similar, including a compare and complete step is needed, since a relevant aspect of the engineering design methodology is to compare the different solutions achieved (in terms of efficiency, sustainability, beauty, etc). Nevertheless, the teacher can make these steps more complex, depending on the children's responsiveness. Collaboration among children and with the teachers should be actively promoted during the use of both methodologies.

Maths concepts (such as classification, order, units, symmetries, graphics) are used explicitly in all the phases. Similarly for technology, where besides the use of tools to take data, to analyse it and to present results, technology can be utilised to express children's scientific explanation models, for example by means of 'stop-motion' technique (Fridberg et al., 2017).

Related to computational thinking, a scaffolding process is proposed: begin with simple robots (that can be programmed physically), followed by the introduction to block-based coding (like *Scratch*[®], that can be used for presentations, simple modelling, etc.) and ending with physical computing (like BBC microbit, that children can programme to be used as different measuring devices). Also, robotics and programming are integrated in two different ways: as auxiliary to a science real-world problem that guides the activities, or central when the problem is directly related with robotics. In the first case, for example, robots can be used to consolidate the new knowledge, letting children program a robot to "find" answers or using simple programming tools for modelling the phenomena. In the second case, activities such as the design of a domotic garden (or 'smart garden') where robotics and programming are directly integrated with the STEM content. See appendix A for the example activity 'Domotic garden.'

Figure 1 outlines this didactical model. This combined use of both methodologies, framed in a rich environment, fosters the development of scientific and mathematical knowledge, programming skills and technological abilities.

OUTPUT FROM THE botSTEM-PROJECT

The output from the botSTEM-project presented here involves the above discussed didactical framework and a downloadable interactive Toolkit, freely available at botstem.eu. The toolkit includes practices for collaborative inquiry teaching and learning concerning robotics and STEM with methodological guidelines. The activities in the toolkit are partly from a search for successfully implemented robotics practices that pay special attention to STEM and gender perspectives, and newly developed practices by botSTEM partners. The activities have been tested and improved by teachers and results from the implementations of selected activities are presented below.

The Search for Tested Practices

Main criteria for the search for successfully implemented practices addressing four-eight years old children were:

- Pedagogical innovative strategies in education with robotics
- Generic and versatile in relation to robotics and robots
- Specific learning goals for several of the four content areas S, T, E, M
- Learning goals related to big ideas in science
- Gender inclusive
- Including collaborative work
- Involvement of a wide educational community (parents, stakeholders)
- Extended in time

A search for existing robotics practices matching the criteria listed above has been completed. The search was made through use of databases at ERIC, Springer, Routledge and Wiley and Google (Google scholar), as well as Scientix database. In addition, science education researchers and experienced 'expert' teachers were interviewed. The search gave a limited number of educational practices (47) involving more than one of the content areas in

STEM, coupled to robotics and programming for our target ages. Most of the practices found were extracurricular practices, being developed in non-formal environments. Also, activities focusing gender inclusion and described from a gender perspective proved difficult to find for young children. However, so far discussions with experienced teachers and researchers has rendered a view among the teachers that activities involving robotics have proven to be by nature gender inclusive, and it has not been seen as a major issue, especially not for the early-years age group (four-five years old). Another discovery, also confirmed by the experienced teachers, was that, prior to botSTEM, teachers working with digitalization tended to use activities that was readily available and easy to buy and use, rather than theoretically-based teaching activities accompanied by didactical frameworks supporting the teaching.

The Use of the Didactic Model for Developing New Teaching Material

STEM integrated activities were designed based on the didactical model described above. Among the activities, issues related with magnets, changes of matter, simple machines, solutions and mixtures, plants, heat transfer and gravity, can be found, all of them addressing at least one big scientific idea and robotics/programming. These activities, along with the theoretical framework and other on-line resources constitutes the project toolkit, available through the interactive web-site of the project (www.botstem.eu). The guidelines provided in the activities have to be adapted to their specific contexts by teachers, and the site includes forums for teachers in a Moodle platform, where they can discuss experiences during implementations and share advices for future teaching.

An example of the activities developed following the didactical model, that also appears in the botSTEM toolkit, is presented in Appendix A. The activity, intended for children seven-eight years old, spins around the design of a domotic garden (or ‘smart garden’), that is, the design of a garden with an automation system for irrigation. This is an example of how a “robotic” problem serves as anchor to learn about a key idea in science (in the example: organisms require a supply of energy and matter for which they often depend on, or compete with, other organisms) and to apply mathematical knowledge on measurement systems, representation of data and graphs. At the same time, children learn to programme and design an automating device. Furthermore, a possible extension of the activity - named ‘how to care for plants on Mars’ - allows for the introduction of astronomical concepts. The teacher initiates the activity by creation of a stimulating environment through distribution of plants with very different needs in classroom, and through videos of existing ‘smart gardens.’ In this way, children get the opportunity to identify and analyse advantages and disadvantages of how ‘smart gardens’ work, and pose questions about the different needs of the living plants. The definition of the variables that must be controlled in a ‘smart garden’ allows the introduction of BBC microbit and programming in order to construct a measuring tool, i.e. measuring temperature, humidity, light and so on. It is worth noting that in this part of the activity, the children are working and learning about current technology. Once the children programme the instrument, an inquiry cycle can begin, focused on the needs of the plants. For example, they can use two different plants (basil and cactus) and propose experiments to determine their optimal living conditions, such as following their development for a couple of weeks varying temperature, humidity or lightening. After sharing the results obtained, children can enter the engineering design cycle, designing a watering system for each type of plant, using the knowledge obtained through the inquiry cycle.

As can be seen in Appendix A, the outline of the activity, following the different phases of the didactical model, is given to the teachers, as well as some suggestions and hints (derived from its use with children) that might be useful for the implementation.

Implementation of the Teaching Activities in Preschools

The botSTEM activities are being implemented, evaluated and refined in preschools in Spain and Sweden during 2018-2020. A design-based implementation (Barab and Squire, 2004) of the activities, guided by variation theory (Marton and Booth, 1997; Marton, 2014) is followed. One of the basic ideas of variation theory (Marton and Booth, 1997) is that learning is always directed at something (phenomenon, object, skill, aspect of reality). This something is called the object of learning and ‘learning’ entails a qualitative change in the way of experiencing the object of learning - ways of acting originate from ways of experiencing (Marton, Runesson, and Tsui, 2004). There is a dynamic nature to the object of learning. The ‘intended object of learning’ planned by the teacher will not be the same as the ‘enacted object of learning’ that the teacher implements in complex classroom situations, and what the students actually experience (the ‘lived object of learning’) is again not the same as the enacted object of learning (Marton et al., 2004). In planning the teaching of each activity, teachers were asked to discuss with colleagues, and formulate answers about the intended object of learning (What knowledge are the children expected to develop?; What does it mean to understand this?; What differs between different ways of understanding this?; How are they expected to understand and use the knowledge afterwards?) about both STEM and robotics. Through both participative and non-participative observation, several teachers have been observed during activities, in order to

determine the enacted and the lived object of learning. Video data of implemented activities have been collected and interviews of teachers pre and post their experience with the activities have been performed.

Preliminary results from the teaching of young children (four-six years old) in Swedish preschools (Cronquist, Fridberg, and Redfors, 2019; Fridberg and Redfors, 2020) indicate that robotics may function as a motivation factor for exploring scientific concepts. In the data, teachers and children discuss, cooperate and physically try out skills in computational thinking with the focus of helping robots to overcome obstacles. These obstacles could be created by the teacher with a specific aim, such as giving the children a task to help the robot up an inclining plane, or by the children themselves in spontaneous inquiry and play situations. Programming the robots is indicated to be a complex task for children in itself, especially when they have to program the robots to turn around. The robot activities make the children reflect about their own role in the programming. In a situation where a robot was programmed to walk up an inclined plane but failed and took another route than that intended by the programming child, the child uttered: "I would like to be in his brain to see what he thinks!". The teacher answered "It's you that program him." and this made the child reflect "But then I am his brain!". The play with robots thus gives opportunities for the children to metareflect and learn about important aspects of programming and their possibilities to affect the outcome of it. Before the implementations of botSTEM activities, not all teachers and children had had experience with robots, but teachers could adapt the activities and the didactical model to the realities of their classrooms, despite perceived obstacles that the teachers initially expressed.

In the case of an activity about magnets in Spanish schools for children four-five years old (Greca, García Terceño, Cronquist, Fridberg, and Redfors, 2019), the involved teachers did not have any knowledge about how to introduce robots in their classrooms, at the outset. However, when the teachers started the activity, they felt more and more confident to introduce new ways to use robotics with the children. The activity also includes addressing laterality, spatial orientation, sequence of movements, working memory and counting. In spite the fact that the teachers that implemented this particular activity did not consider the understanding of the proposed methodologies as an object of learning, they implemented an inquiry methodology during the process. However, engineering design methodology described in the toolkit was not part of the intended object of learning - it was not addressed in an explicit or reflective way. Nevertheless, in practice, the teachers implemented an integrated STEM approach, integrating the STEM along with robotics. The reason for this could be their holistic view of education, i.e. that teachers usually work with extended teaching projects. Additionally, all Spanish teachers, without exception, agreed that an integrated STEM approach is an exceptional way to teach STEM because it encourages children to learn and it boosts their curiosity. However, after these first implementations, the teachers are still reluctant to integrate this approach in their regular teaching practice. They perceive it as isolated occurrence, even though they note that the children's competences improved significantly.

CONCLUSIONS

Even though integrated STEM education from kindergarten to high school is being promoted by national and international stakeholders, it was difficult to find teaching material for four-eight years old children, upheld by research in science education and involving robotics. Moreover, the existing frameworks did not seem to be very useful for helping teachers to develop integrated STEM activities (Chu et al., 2019), especially for the first schooling years (Ortiz-Revilla et al., 2018). Given this scenario, the Erasmus+ project botSTEM developed a research based didactical framework for integrated STEM education and robotics for early years, with a gender inclusive pedagogy that makes use of inquiry, engineering design methodology, collaborative work and robotics focusing on STEM content that relates to big ideas in science. The didactical model was used to develop teaching material in the form of integrated STEM activities, including robotics. The botSTEM-activities, as well as the theoretical framework, the didactical model, have been translated and are available in the project-partners' languages as part of the published toolkits at the project website botstem.eu. Hence, all activities are available through the interactive website of the project. Active teachers in the partner countries also have forums in a Moodle© platform to discuss experiences made during implementations and future teaching.

The preliminary results of the use of the didactical model and the activities in preschool indicate that, despite the fact that many preschool teachers are not used to or trained to teach STEM content areas, integrated, by experimental means and using robotics, the teachers that are working within the botSTEM-activities seem to have adopted key aspects of the framework and successfully applied them. This shows that inquiry teaching and engineering design methodologies can be used with children as young as four years old. So, the activities developed within the didactical framework, associated with the design-based implementation seem promising and potentially useful to improve integrated STEM and robotics teaching and learning at pre and primary school. More detailed analysis of implementations is ongoing and results from the final development of the activities during 2020 will be presented via botstem.eu.

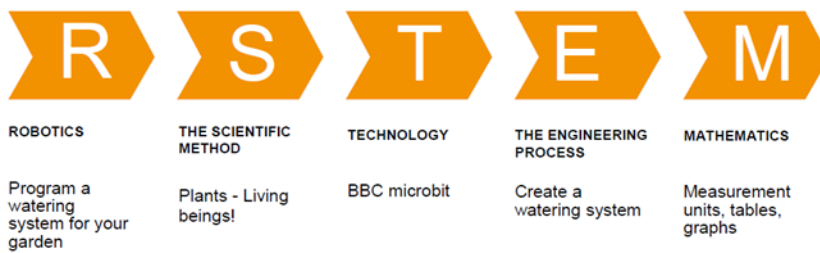
REFERENCES

- Adúriz-Bravo, A. (2012). A ‘Semantic’ View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7>
- Ali, M. M., Yager, R. E., Hacıeminoglu, E. and Caliskan, I. (2013). Changes in student attitudes regarding science when taught by teachers without experiences with a model professional development program. *School Science and Mathematics*, 113(3), 109-119. <https://doi.org/10.1111/ssm.12008>
- Barab, S. A. and Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1-14. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_1
- Bers, M. U., (2018). *Coding as a playground: Programming and computational thinking in the early childhood classroom*. New York, NY: Routledge press. <https://doi.org/10.4324/9781315398945>
- Bøe, M. V., Henriksen, E. K., Lyons, T. and Schreiner, C. (2011). Participation in Science and Technology: Young people’s achievement-related choices in late modern societies. *Studies in Science Education*, 47(1), 37-72. <https://doi.org/10.1080/03057267.2011.549621>
- Brown, A. L., Campione, J. C., Metz, K. K. and Ash, D. B. (1997). The Development of Science Learning Abilities in Children. In K. Hårnqvist and A. Burgen (Eds.), *Growing Up with Science* (pp. 7-40). London: Jessica Kingsley Publishers.
- Bybee, R. W. (2010) What is STEM Education? *Science*, 329(5995), 996-996. <https://doi.org/10.1126/science.1194998>
- Chalufour, I. and Worth, K. (2004). *Building Structures with Young Children (Young Scientist)*.
- Chu, H.-E., Martin, S. N. and Park, J. (2019). A theoretical framework for developing an intercultural STEAM program for Australian and Korean students to enhance science teaching and learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(7), 1251-1266. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9922-y>
- Cronquist, B., Fridberg, M. and Redfors, A. (2019). Robotics and Early-Years Stem Education - botSTEM Framework, Toolkit, and Implemented Activities in Sweden. Poster presented at the *13th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA)*, Bologna, Aug 26-30, 2019.
- Dare, E. A., Ring-Whalen, E. A and Roehrig, G. H (2019). Creating a continuum of STEM models: Exploring how K-12 science teachers conceptualize STEM education. *International Journal of Science Education*, 41(12), 1701-1720. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1638531>
- Denessen, E., Vos, N., Hasselman, F. and Louws, M. (2015). The Relationship between Primary School Teacher and Student Attitudes towards Science and Technology. *Education Research International*, 2015, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2015/534690>
- DeWitt, J. and Archer, L. (2015). Who Aspires to a Science Career? A comparison of survey responses from primary and secondary school students. *International Journal of Science Education*, 37(13), 2170-2192. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1071899>
- Eguchi, A. (2014). Robotics as a learning tool for educational transformation. In *Proceeding of 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education Padova (Italy)*.
- Erduran, S. and Dagher, R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education: Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. *Contemporary Trends and Issues in Science Education*, 43. Dordrecht: Springer Verlag.
- European Union. (2015). *Science Education for Responsible Citizenship*. Directorate-General for Research and Innovation. Brussels.
- Fleer, M. (2009). Supporting Scientific Conceptual Consciousness or Learning in ‘a Roundabout Way’ in Play-based Contexts. *International Journal of Science Education*, 31(8), 1069-1089. <https://doi.org/10.1080/09500690801953161>
- Fleer, M. and Pramling, N. (2015). *A Cultural-Historical Study of Children Learning Science*. Dordrecht: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9370-4>
- Fleer, M., Gomes, J. and March, S. (2014). Science learning affordances in preschool environments. *Australian Journal of Early Childhood*, 39(1), 38-48. <https://doi.org/10.1177/183693911403900106>
- Fridberg, M. and Redfors, A. (2020) Preschool Teachers’ role in establishing Joint Action during Children’s Free Inquiry in STEM. *Journal of Research in STEM Education*. Online first.
- Fridberg, M., Thulin S. and Redfors, A. (2017). Preschool children’s Communication during Collaborative Learning of Water Phases Scaffolded by Tablets. *Research in Science Education*, 48(5), 1007-1026. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9596-9>
- Giere, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Minneapolis: University of Minnesota Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226292038.001.0001>
- Greca, I. M., García Terceño, E. M., Cronquist, B., Fridberg, M. and Redfors, A. (2019). Robotics and STEM education for 4-8 y.o. children in Spanish Pre and Primary schools. Poster presented at *The 13th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA)*, Bologna, Aug 26-30, 2019. University of Burgos, Spain.

- Hanson, N. R. (1958). *Patterns of Discovery*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harlen, W. (Ed.) (2015). *Working with Big Ideas of Science Education*. Trieste: IAP. <http://www.ase.org.uk/documents/working-with-the-big-ideas-in-science-education/>
- Henriksen, E. K., Dillon, J. and Ryder, J. (Eds.). (2016). *Understanding student participation and choice in science and technology education*. Dordrecht, the Netherlands: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7793-4>
- Kang, N.-H. (2019). A review of the effect of integrated STEM or STEAM (science, technology, engineering, arts, and mathematics) education in South Korea. *Asia-Pacific Science Education*, 5(6), 1-22. <https://doi.org/10.1186/s41029-019-0034-y>
- Kelley, T. R. and Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(11), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kermani, H. and Aldemir, J. (2015). Preparing children for success: Integrating science, math, and technology in early childhood classroom. *Early Child Development and Care*, 185(9), 1504-1527. <https://doi.org/10.1080/03004430.2015.1007371>
- Lederman, L. (1998). *ARISE: American Renaissance in Science Education. Fermilab-TM-2051*. Batavia, IL: Fermi National Accelerator Lab.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present, and Future. In S. K. Abell and N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-879).
- Martin-Hansen, L. (2002). Defining inquiry. *The Science Teacher*, 69(2), 34-37.
- Marton, F. (2014). *Necessary conditions of learning*. New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315816876>
- Marton, F. and Booth, S. (1997). *Learning and awareness*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Ass.
- Misirli, A. and Komis, V. (2014). Robotics and programming concepts in early childhood education: a conceptual framework for designing educational scenarios Anastasia. In *Research on E-Learning and ICT in Education*. New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6501-0_8
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2014). *STEM Integration in K-12 education. Status, prospects, and an agenda for research*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M. and Arriasecq, I. (2018). Construcción de un marco teórico para el enfoque STEAM en la Educación Primaria. En C. Martínez Losada y S. García Barros (Eds.), *28 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Iluminando el cambio educativo* (pp. 823-828). A Coruña, Spain: Universidade da Coruña.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell and N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Scutt, H. I., Gilmartin, S. K., Sheppard, S. and Brunhaver, S. (2013). Research-informed practices for inclusive science, technology, engineering, and math (STEM) classrooms: Strategies for educators to close the gender gap. *Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition*, June 23-26, Atlanta.
- Thulin, S. and Redfors, A. (2017). Student Preschool Teachers' Experiences of Science and its Role in Preschool. *Early Childhood Education Journal*, 45(4), 509-520. <https://doi.org/10.1007/s10643-016-0783-0>
- Toma, R. B. and Greca, I. M. (2018). The Effect of Integrative STEM Instruction on Elementary Students' Attitudes toward Science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(4), 1383-1395. <https://doi.org/10.29333/ejmste/83676>
- Tytler, R. and Osborne, J. (2012). Student attitudes and aspirations towards science. In *Second international handbook of science education* (pp. 597-625). Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_41
- Wikipedia (2020). Available at: <https://en.wikipedia.org/> (Accessed 26 March, 2020)
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy: STEM literacy for learning. *School Science and Mathematics*, 112(1), 12-19. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2012.00101.x>

APPENDIX A: AN EXAMPLE OF A DEVELOPED ACTIVITY

Domotic Garden



Concise Description

Nowadays, robots are part of our daily lives. Not only are they in industry but they are also in our houses and schools and they make our life easier. In this unit, kids are called to design and build a ‘domotic garden’ to grow plants in a more effectively and efficiently way. For that reason, they have to learn about what a domotic system is; how it works and how it can be programmed. In addition, they have to generate their own knowledge about plants following the Scientific Method and how to create a system capable of taking care of our garden. In order to achieve these goals, kids have to apply mathematical knowledge about measurement instruments and units, tables and graphs.

Observe & Question

At the beginning of the class it is important to encourage a collaborative environment where kids can share their opinions and doubts, where they can work together and where they can generate their own knowledge. For that, it would be a good idea to introduce the concept of ‘smart garden’ through a piece of news or a video where they can analyze how it works and identify which are the advantages and disadvantages of its use. Boost a dialogue among the members of the class, what do you think about smart gardens? Is it useful? What for? What things/variables can be controlled in your garden with this system? How does it work? Is it related to robots?

Inspire children to talk and discuss more deeply about the variables which must be controlled in a garden such as temperature, humidity, insects, soil, etc. and focus their attention on two of them: temperature and humidity. Help them relate these concepts to their experiences through the evaporation process. What happens to the puddles after raining when the sun shines and the temperature is high? And if there is no sun and the temperature is low?

Introduce a discussion about their experiences and ideas about temperature and evaporation, and talk about how temperature and humidity can be measured. Make sure that the students have understood these concepts properly and then show them a BBC microbit.

Play & Discover about BBC microbit

Let pupils investigate in groups about what a BBC microbit is, discover how it works and test it. After that, design some activities/challenges to work with this gadget having in mind their previous experiences with programming and specifically with BBC microbit. You can get ideas at: <https://microbit.org/>

When children feel comfortable working with BBC microbit, guide them in programming a temperature and a humidity gadget. If you consider it appropriate every group can be responsible of only one of them in order to explain to the other groups how they have managed to program it afterwards. Letting the pupils become a “teacher” helps them to consolidate their knowledge and improve their reasoning skills through giving and receiving instructions with peers.

Design, Experiment & Programme

Once the BBC microbits are programmed it is time to test them. Create bigger groups getting together one which was responsible for a temperature gadget and other for a humidity one and give them two plants with very different needs, such as a cactus and basil.

Encourage children to identify what the plants need to live and use the Scientific Method for it. Firstly, provide them with resources that they can use to find out information about this topic that allows them to define the hypothesis, how much water does the cactus need to live? And the basil? Are high temperatures appropriate for the basil? And for the cactus?

After that, with your support, they must design an experiment to check what conditions of temperature and humidity that these two plants need. They must decide how much water they will use for the plants and where they will be located (both plants of each group must be under the same conditions and these conditions must be different from the rest of the groups in order to compare the results afterwards). One more option to consider is to introduce the concept of sunshine, a new variable which can be measured after programming a BBC microbit as a light sensor.

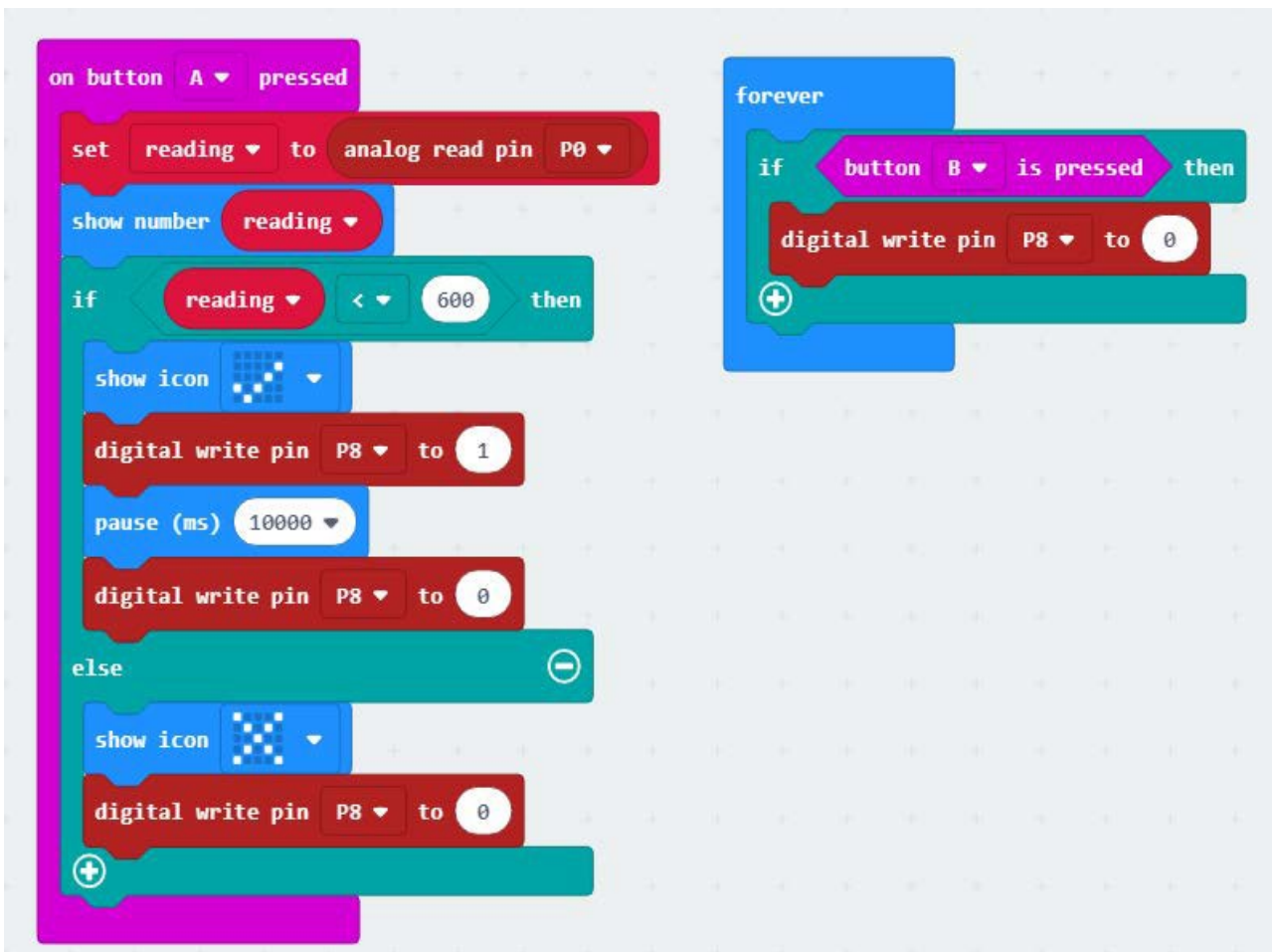
During a week they have to measure the temperature and the humidity of the plants and describe how they are (students can also take photos or draw pictures), have the plants changed their colour or their size? If it has leaves, are they fresh or dry? If it has prickles, are they sharp? Does it have any shrunken part? If you consider it appropriate you can create a poster where kids can write down their results or draw graphics and tables. This will help them compare more easily the results gathered from every group.

After a week the groups must explain their findings to the rest of the class and discuss all together the analyses, the results and draw conclusions. Do both plants need the same quantity of water? Do both plants withstand cold temperatures? What happens to basil when the temperature is high?

A wide range of options can be also included in this inquiry sequence if you consider it applicable for your pupils, such as deciduous and evergreen plants, sunshine and photosynthesis or even the evolution of the plants.

Engineering Design Process

When they have defined the best conditions of temperature and humidity for the plants, each group has to choose one to take care of and design a watering system using the Engineering Design Process. Support kids to imagine possible solutions having in mind the knowledge acquired and the gadgets used before and they can analyse the ideas and suggestions proposed so as to choose the most promising one. Provide them the appropriate support to plan how they are going to create the watering system using the plants, the BBC microbit, the water sensors, the pumps and the bowls with water supply and taking into account children coding skills, help them to think and reason how to create the code asking them questions and explaining them each step. Here you have a code for your BBC microbit, but remember: there are a lot of possibilities; this is just an option.



You can find some videos at: <https://www.youtube.com/watch?v=jcc5Qae2Cfs>

Evaluate & Share

Once the watering system is ready it is time to test it and make the suitable improvements. After sharing their knowledge and the key of their prototypes, a discussion can be held, is an irrigation system useful? How it can facilitate people's life? Which other applications does it have? Do these watering systems help preserve natural resources such as water? They can also create a poster, a stop motion video or a slide-presentation that shows with photos, pictures, etc., what are the best conditions for the plant they chose, what happens to the plant when the circumstances are not the right ones and how a watering system can be created.

As a complementary activity you can explore and search what are the cares that the plants would need if they were on Mars and think about how they can grow and take care of them using robots.

IMPLEMENTATION OF AN INTEGRATED STEM ACTIVITY IN PRE- PRIMARY SCHOOLS

Eva M. García Terceño¹[0000-0003-4631-0058], Ileana M. Greca¹[0000-0003-3674-7985], Andreas Redfors²[0000-0003-4792-8749] and Marie Fridberg²[0000-0003-0513-1221]

¹ Universidad de Burgos, 09001 Burgos, Spain

² Kristianstad University, Kristianstad, Sweden
emgterceno@ubu.es

Abstract. BotSTEM is an ERASMUS+ project. Its outputs are aimed to provide in- and pre-service teachers in Childhood and Primary Education with a didactical framework, research-based materials and best practices using integrated Science, Technology, Engineering, Mathematics (STEM) and robot-based approaches for enhancing scientific literacy in young children. Initial results from the implementation of activities following the proposed model in preschools in Spain are presented here. Despite the possible obstacles that preschool teachers initially expressed, the preliminary analysis indicates that the proposed STEM integrated framework, including inquiry teaching and engineering design methodologies, can be used with children as young as 4 y.o. In the case of a project about magnets, the children seem to have learnt some scientific ideas, applied these ideas to design a magnetic toy and learnt about spatial orientation using robots.

Keywords: Early childhood education, integrated STEM education, inquiry-based teaching, Variation Theory, Design-Based Research.

1 Introduction

Robotics and STEM education for children and primary schools is an ERASMUS+ project with partners in Spain (coordinators), Sweden, Italy and Cyprus, that aims to develop a new didactical framework for integrated STEM education, understood as a combination of STEM disciplines that allows a holistic teaching-learning process based on solving real problems. This approach includes robotics and coding, into education curricula for childhood and primary schools (4-8 y.o.). The project outputs are specifically aimed to provide in- and pre-service teachers in Childhood and Primary Education with a didactical framework and materials, based on the framework, for enhancing scientific literacy in young children.

STEM in early childhood education should be preferably holistic, child centred and project and problem based. As have been shown, meaningful hands-on STEM experiences for early childhood and elementary school-age children positively affect their perceptions and dispositions towards STEM [1-3], when these activities are integrated [4, 5]. To reach this integration, two methodologies, inquiry teaching and engineering design, seem to be appropriate to intertwine the different fields in STEM through real

world problems. Working with inquiry and engineering based STEM activities provide children with opportunities to practice skills such as reasoning, reflection, questioning, modelling, justifying decisions and communicating. These problems should revolve around certain key ideas indispensable for children to understand, enjoy and marvel at the natural world [6]. Although research suggests that children can follow both methodologies, some adjustments must be made for very young children, especially with the first part of both cycles. For example, inquiry is about questions, but it's difficult for children to ask questions about something they have not seen, touched or experienced. Also, young children need time to explore, create, and innovate [7]. Therefore, for young children it is very important first to engage, notice, wonder and question [8]. That is, to give time to play in a rich science environment. As many of the emergent questions may not be possible to investigate, children need teachers to focus observation and clarify questions. After that, children can, with teacher support, follow the other stages. So, inspired in Chalufour and Worth's inquiry cycle [8], the activities developed at botSTEM project are designed to follow the cycle that appears in Figure 1.

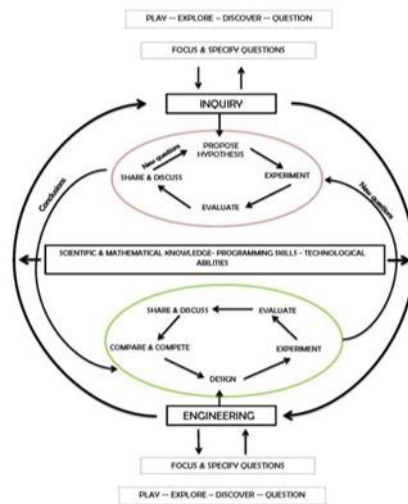


Fig. 1. Phases of inquiry teaching and engineering design for young children. Inspired in Chalufour and Worth (p. 74) diagram [8].

Related to computational thinking, included because of its potential to teach logical thinking, problem solving and digital competence, we consider that it should be introduced at early childhood through the use of scaffolding devices. In the activities developed, 4 year-old children begin to work with simple robots that are programmed with buttons on the back. For older children the complexity increases because the programming of robots with tablets is added, the use of Scratch and finally, the programming of measurement instruments with a physical device like the BBC-microbit.

Integrated STEM approaches imply several challenges for teachers. The long history of studies on the STEM approach has not allowed teachers to incorporate approaches to teaching-learning processes that integrate the four disciplines significantly [9]. Making cross-cutting STEM connections is not an easy task, requiring that teachers prepare lessons that allow students to understand how STEM knowledge is applied to real-world problems. To make these connections, teachers need to address both content and pedagogy, but as Dare et al. [10] acknowledge, identifying exactly what content and pedagogy is complex. Nevertheless, Fler et al. [11] show that with a ‘sciencing attitude’, teachers have unique possibilities to teach science in preschool.

As Spanish preschool teachers are not trained in any of these aspects (integrated STEM approaches; inquiry and engineering design methodologies and robotics) we follow a design-based implementation [12] of the activities, guided by variation theory [13] in order to implement this proposal. One of the basic ideas of variation theory is that learning is always directed to something (phenomenon, object, skill, aspect of reality). This something is called the object of learning and ‘learning’ entails a qualitative change in the way of experiencing the object of learning – ways of acting originate from ways of experiencing [14]. Experiencing an object of learning requires that the learner becomes aware of its different aspects, and is provided the opportunity to discern these aspects simultaneously. Other relevant aspect of this theory is the dynamic nature of the object of learning. The intended object of learning planned by the teacher may not be the same as the enacted object of learning that the teacher implements in complex classroom situations, and what the students actually experience (the lived object of learning) may not be the same as the enacted object of learning [15].

1.1 Aim and Research Questions

The overarching aim of the 3-year botSTEM project is to, through a design-based research approach, develop and analyse collaborative inquiry teaching and learning STEM activities scaffolded by robotics in pre-primary school. The research question guiding the analysis presented here is: How do pre-primary school teachers and children deal with the proposed didactical approach and the objects of learning in their classrooms?

2 Method

With the objective of reducing the gap between the theoretical studies produced and the educational practice the botSTEM project is committed to use a design-based research framework that combines “the joint reflection of researchers and professionals in educational practices” (p. 217) [16]. This paper presents an extract of this process focused on the implementation of a first prototype of a teaching sequence on magnetism through a multiple-case study because this “design provides rich descriptions and interpretations of teachers’ experiences, and by examining multiple

cases, this information provides a broader description of their experiences relating to STEM integration” (p. 4) [17].

2.1 Participants

At the beginning of the project, the Spanish botSTEM partner established collaboration with four different schools in Spain. Three of them are in Burgos and one in Algeciras. In all, 15 pre-primary teachers and two researchers are involved in five different work groups. During the 2018-2019 academic year, eight teachers with around 20 children each, decided to implement an activity related to magnets, while the others preferred to work with other topics, such as changes of matter, parachutes or inclined planes.

2.2 Instruments

In order to achieve the aim of the study, two working groups were created with the teachers who decided to implement the STEM magnet activity, and they were interviewed before and after the implementation of the activity. The former interview aimed to make teachers reflect about two main questions related to the planning of the activity: (1) what knowledge (about STEM and programming) do you want the children to develop? (2) How can you help them to develop that knowledge? The latter interview had the purpose of comparing what they planned (is it the intended teaching) before the activity and what and how they finally did it: (1) did you follow the steps initially planned? (2) What did you finally do? (3) At the end of the project, what have children learnt? During this second meeting teachers also shared what they think about science and its role in Early Childhood Education. In addition, the teachers video-recorded the development of some activities. In these videos, children’s attitudes and changes of reasoning during the implementation could be observed.

2.3 Procedure

The complete investigation process, from which this case study is extracted, is planned following the stages proposed by Plomp [18] for the design-based research: a preliminary research, prototyping phase and assessment phase. In the preliminary research, the botSTEM project developed the theoretical framework discussed above that guided the development of different activities. After analysing the possibilities offered, 8 teachers decided to implement a specific activity related to magnets. Originally, this activity focuses on encouraging children to design and build a magnetic toy. For achieving this objective, students develop scientific knowledge about magnets following a guided inquiry, and design a prototype, thinking critically and creatively as engineers do. During this process, children are supposed to apply mathematical knowledge – related to series, classifications, counting – and programming skills to program a simple robot, used as a consolidation tool of the new knowledge. The proposals included in the botSTEM toolkit offer general ideas, following the didactic model, so teachers, assisted by researchers, fine-tune the

activity selected to their educational context. In order to adapt and adjust the activity, teachers were encouraged to reflect about what they wanted the children to learn (Intended object of learning) and how they would manage to achieve that goal. After the implementation of the activities, the working groups met again with the purpose of analyzing the teaching-learning process followed during the implementation (Enacted object of learning) and reflect about the initial goals and procedures (Intended object of learning) and what and how children finally learn (Lived object of learning).

3 Data analysis

The analysis of the collected data has been carried out using the NVIVO software, after the transcription of the interviews and videos. The information gathered was categorized, also taking into account the teachers' attitudes during the interviews and the observations extracted from the videos recorded during the implementation of the activities, in order to have a comprehensive view of the process. The categorization was carried out independently by two of the researchers, without finding significant differences between the two contributions. After a joint reflection, agreement was reached on a final set of categories.

4 Results and Discussion

Intended object of learning

During the meetings with both working groups, the intended object of learning was identified. Magnetism, as a scientific concept, was acknowledged as the direct object of learning. But the other STEM disciplines, mathematics, technology or engineering and programming were not considered by the teachers, as well as neither the phases of inquiry teaching and the engineering design (Fig. 1), the methodologies to be used to achieve the object of learning, were identified as indirect aspects to be learnt. Occasionally, teachers are not familiar with what the object of learning entails. In this case, the development of scientific and engineering skills that would be used during the teaching-learning process as well as the mathematical knowledge, the programming skills and the technological abilities were obviated. Therefore, from the teachers' perspective, the intended object of learning focused specifically on developing scientific concepts about magnets (magnetic materials, force and polarity), about their history, their applications, even about their influence on some animals. However, none of these aspects were connected with the development of scientific and engineering competences or with the nature of science, which could be related to a misperception of teachers about the inability of children to understand how science works [19]. Related to programming, the teachers were more hesitant, and they only talked about the use of robots to consolidate the knowledge generated during the activity, as the toolkit proposes, never considering it as an intended object of learning.

Enacted object of learning

Once the teachers had planned the intended object of learning, they implemented the activity in their classrooms, that is, the enacted object of learning. Some of the teachers decided to carry out the sequence with the whole group, about 20 children at a time, while others chose to separate them into two groups, *We always work with half of the class, with 25 children it would have been impossible* (Teacher 5). These teachers sometimes brought the whole group together only to draw conclusions and reflect about what they did and learnt. In the end, although with different intensity and investment of time, most of the teachers put into practice the following steps:

- Playground and experimental areas where children could discover different properties of magnets with the guidance of the teacher
- Definition of hypothesis for simple experiments
- Experimentation
- Documentation of data
- Drawing conclusions
- Creation of a magnetic toy

Although teachers did not consider the understanding of the methodologies used as an object of learning, they followed the steps of an inquiry method during the process, but not in an explicit or reflective way. Moreover, the engineering design methodology was not used, although all ended the project with the development of a magnetic toy.

In the final interview, the teachers commented that during the first phase, it was necessary to support the children in the playground areas because they did not focus their attention on the critical aspects of the intended object of learning. They were aware that magnets stuck on the lid (made of a magnetic metal), but they seemed not be able to think about anything else. *If you really want kids to observe that there is an attraction of the iron shavings through the water (and the glass), they need some guidance so as not to get stuck* (Teacher 2). Moreover, the teachers introduced new experimental moments in order to address the new hypothesis children proposed during the activities and therefore reinforced the development of the enacted object of learning, *They shared very curious hypothesis, they said that cold things were attracted by magnets, so I decided to bring an ice cube* (Teacher 5). These playground areas enabled teachers to scaffold learning through the experience of the children, in accordance with Rahm [20].

When teachers were asked about how they introduced robots into the teaching-learning process, most of them felt a lot more enthusiastic, in comparison with the first interview. They realized that, in addition to strengthening knowledge about magnets, children had worked on: spatial orientation, sequence of movements, reducing impulsivity, counting or working memory. It is worth stressing that although mathematical ideas were not included in teachers' intended object of learning, during the enacted object of learning, some mathematical ideas were addressed. They also asserted that although programming a robot implies a complex task for young children, especially when they had to deal with "turns", they did not get bored because they experienced these activities as "play situations".

Lived object of learning

As we have seen, the enacted object of learning sometimes can differ from what the children actually learn unless the teachers know how to draw their attention to what they want them to learn. With the intention of analyzing what the children achieved in terms of knowledge and skills, it is important to detect what they initially knew about magnetism and programming. This prior knowledge was identified by teachers at the beginning of the implementation, when the children played and explored the magnets through three different questions: What kind of things are attracted by magnets? Can magnets attract each other? Do magnets have different powers? With this knowledge, the teachers were able to create specific situations to scaffold them through the experimentation, changing their intended object of learning.

Initially, the children associated the temperature and the weight of objects with their magnetic properties, in such a way that cold and heavy things were attracted by magnets. It is interesting to note that, from a sensory point of view, these characteristics can be associated with many metallic objects with which the children interact every day. After the experimentation, the children modified their thoughts in two ways: they understood that “the cold and heavy things” are made of metals and that not all metal objects are attracted by magnets, in spite of the fact that they were not able to distinguish between magnetic and non-magnetic metals. Table 1 shows the new understandings achieved, in opposition to their previous ideas.

Table 1. Children’s ideas about magnetism before and after the implementation

Children’s ideas previous the STEM activity	Children’s ideas after the STEM activity
What kind of things are attracted by magnets?	
<i>Objects that weigh little are not attracted by magnets.</i>	Not all metal objects are attracted by magnets. (But they were not able to identify the ones that were attracted).
<i>Cold things are attracted by magnets.</i>	
Can magnets attract each other?	
<i>Some little faces can be joined together but others cannot stick together.</i>	Magnets attract and repel each other.
<i>The S with the S do not come together, they repel each other.</i>	Magnets can attract each other even if there is a surface between them.
<i>They do not meet because there is air between them.</i>	
Do magnets have different powers?	
<i>Yes, big magnets take more clips and those which are small only take one or two.</i>	The power of a magnet is not related to its size.

Finally, they applied these ideas to design a magnetic toy. However, although the teachers generated situations in which children were able to play and discover properties of magnets and redirected what they had planned in order to address the new hypothesis, which is actually STEM in early childhood [21], the teachers were concerned about the lack of ability of the students to generalize what they have learnt.

When it comes to programming, before the implementation not all the students had experience with robots. However, most of the children found them fun once the robots were introduced. They considered robots as a game and teachers took advantage of it to develop and improve their competences and abilities. Above all, teachers observed significant improvement in their ability to sequence steps and spatial orientation. *First of all, we worked the spatial orientation with our bodies, and then we started with the robots* (Teacher 5). Occasionally, although children verbalised that robots are controlled by people, when they made a mistake and the robot did not go where they wanted, they pointed to the robot as being responsible for the error. In other occasions, the children felt confident to try the same pattern of movements over and over again until they achieved their objective. This was because they did not perceive the error as a failure, but as a new opportunity: *This robot is crazy, where does it go? We tell them where they have to go. If we make a mistake, nothing happens. You can do it again* (Different children of 4 years).

Related to the attitudes/motivation during the STEM activity, both, teachers and children enjoyed it. *We took photos and we left them in the library. They are looking at them all the time. They loved it* (the activity), *we drew the attention to few clear concepts, no more and they enjoyed it a lot* (Teacher 3). In our data, children discussed, cooperated and physically tried out skills to understand how magnets behave and how to use them to create a racetrack toy.

Although all teachers expressed their satisfaction about the results achieved with the implementation, after the interviews, it was possible to categorize them in three groups taking into account their willingness to implement integrated STEM approach in their classrooms: Still reluctant due to teachers' limitations (number of children per class; lack of scientific knowledge; lack of knowledge in didactics of STEM; and lack of time); Entirely favourable (boost children curiosity; great opportunity to develop a meaningful learning from their personal experiences; exhaustive scientific knowledge is not required; the comments of the children have a lot of coherence); Still reluctant due to children's limitations (children are not able to pose scientific questions, to make generalizations and their prior conceptions are scarce).

5 Conclusions

The enacted and the lived object of learning observed for this implementation seem to show that both teachers and children could deal with the methodological proposal, adapting it to the realities of their classrooms, despite the drawbacks that teachers initially expressed. It's worth stressing that although not necessarily consciously, the teachers implemented, in practice, an integrated STEM approach, integrating the S, T and M parts along with robotics, in spite of focusing their efforts almost exclusively

in science when discussing their intended object of learning. The reason could be their holistic view of education and the fact that pre-primary teachers usually work with projects. For the children, the activities, modified by the teachers for their specific settings, were useful for improving their knowledge and skills. However, in order to make teachers aware of the integration of the STEM disciplines and help children to understand these connections, it is necessary to highlight the specific content of each discipline and the links between them [22].

Even though Spanish pre-primary school teachers are not used to or trained to teach STEM subjects integrated and by experimental means, the teachers working within the botSTEM activity seem to have grasped key aspects of the framework and successfully applied them. Nevertheless, some of the teachers, notwithstanding this success, are still reluctant to integrate this approach in their teaching practice, perceiving it like isolated projects, although they note that the students' competences improve significantly. This may be related to their feelings and perceptions of self-efficacy about STEM, an aspect that has to be studied in depth.

In summary, the activities developed within the methodological framework, associated with the design based implementation seem to be useful to improve STEM teaching and learning at pre-primary school, although more implementations are needed to improve the model.

Acknowledgements: botSTEM project is funded by the European Union and the SEPIE Spanish National Agency under the ERASMUS+ KA2 Strategic Partnerships for School Education European programme. We want to thank the teachers who collaborate with dedication in this project, sharing their knowledge and experiences.

References

1. Bagiati, A., Yoon, S. Y., Evangelou, D., Ngambeki, I.: Engineering curricula in early education: Describing the landscape of open resources. *Early Childhood Research & Practice* 12(2), 1-15 (2010).
2. Bybee, R. W., Fuchs, B.: Preparing the 21st century workforce: A new reform in science and technology education. *Journal of Research in Science Teaching* 43(4), 349-352 (2006).
3. DeJarnette, N. K.: America's children: Providing early exposure to STEM (Science, Technology, Engineering and Math) initiatives. *Education* 133(1), 77-83 (2012).
4. Toma, R. B., Greca, I. M.: The Effect of Integrative STEM Instruction on Elementary Students' Attitudes toward Science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 14(4), 1383-1395 (2018).
5. Kermani, H., Aldemir, J.: Preparing children for success: Integrating science, math, and technology in early childhood classroom. *Early Child Development and Care* 185(9), 1504-1527 (2015).
6. Harlen, W. (Eds.): *Principles and Big Ideas of Science Education*. Association for Science Education, Great Britain (2010).
7. DeJarnette, N. K.: Implementing STEAM in the Early Childhood Classroom. *European Journal of STEM Education* 3(3), 18, 1-9 (2018).
8. Chalufour, I., Worth, K.: *Building Structures with Young Children*. Redleaf Press, United States (2004).

9. Kelley, T. R., Knowles, J. G.: A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education* 3(1), 1-11 (2016).
10. Dare, E. A., Ring-Whalen, E. A., Roehrig, G. H.: Creating a continuum of STEM models: Exploring how K-12 science teachers conceptualize STEM education. *International Journal of Science Education* 41(12), 1701-1720 (2019).
11. Flerer, M., Gomes, J., March, S.: Science learning affordances in preschool environments. *Australian Journal of Early Childhood* 39(1), 38-48 (2014).
12. Barab, S. A., Squire, K.: Design-based research: Putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences* 13(1), 1-14 (2004).
13. Marton, F., Booth, S.: *Learning and awareness*. Lawrence Erlbaum Ass, Mahwah, NJ (1997).
14. Marton, F., Tsui, A. B. M. (Eds.): *Classroom discourse and the space of learning*. Routledge, New York (2004).
15. Marton, F., Runesson, U., Tsui, A. B. M.: The space of learning. In: Marton, F., Tsui, A. B. M. (eds.) *Classroom discourse and the space of learning*, pp. 3-40. Routledge, New York (2004).
16. Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M., Meneses-Villagra, J. .: La investigación de dise˜no en el desarrollo de propuestas didácticas STEAM. In: Membiela, P., Cebreiros, M. I., Vidal, M. (eds.) *Nuevos retos en la ense˜anza de las ciencias*, pp. 217-222. Educación Editora, Ourense (2019).
17. Dare, E. A., Ellis, J. A., Roehrig, G. H.: Understanding science teachers' implementations of integrated STEM curricular units through a phenomenological multiple case study. *International Journal of STEM Education* 5(4), 1-19 (2018).
18. Plomp, T.: Educational design research: an introduction. In: Plomp, T., Nieveen, N. (eds.) *An introduction to educational design research*, pp. 9-35. Enschede, Netherlands (2007).
19. Akerson, V. L., Carter, I., Pongsanon, K., Nargund-Joshi, V.: Teaching and learning nature of science in elementary classrooms. *Science & Education* 28(3-5), 391-411 (2019).
20. Rahm, J.: Reframing research on informal teaching and learning in science: Comments and commentary at the heart of a new vision for the field. *Journal of Research in Science Teaching* 51(3), 395-406 (2014).
21. Van Keulen, H.: STEM in Early Childhood Education. *European Journal of STEM Education* 3(3), 1-3 (2018).
22. Martín-Paez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J., Vılchez-González, J. M.: What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education* 103(4), 799-822 (2019).

Imanes



EL MÉTODO CIENTÍFICO

¿Cómo pueden algunos objetos influir a otros en la distancia?

TECNOLOGÍA

EL PROCESO DE INGENIERÍA

¡Diseñemos un juego magnético!

MATEMÁTICAS

Clasifica, sería y cuenta para conocer las características de los imanes.

ROBÓTICA

¡Programemos un robot simple para consolidar nuestro aprendizaje!

DESCRIPCIÓN

¿Sabes que hay muchos objetos que pueden influir en otros sin ni siquiera tocarse? Aunque no lo creas no se trata de un truco de magia, sino de una de las propiedades de los imanes. En esta actividad, los niños y las niñas tendrán que diseñar y construir un juguete magnético y para ello es necesario que descubran a través del Método Científico qué es un imán y cuáles son sus principales propiedades y que convirtiéndose en ingenieros e ingenieras, aprendan a pensar de forma crítica y creativa para diseñarlo y construirlo. Además, con el propósito de conseguir estos objetivos, los estudiantes deberán aplicar conocimiento matemático relativo a las series, clasificaciones y conteo así como habilidades para programar un robot simple que les facilite consolidar el conocimiento adquirido.

EL MÉTODO CIENTÍFICO

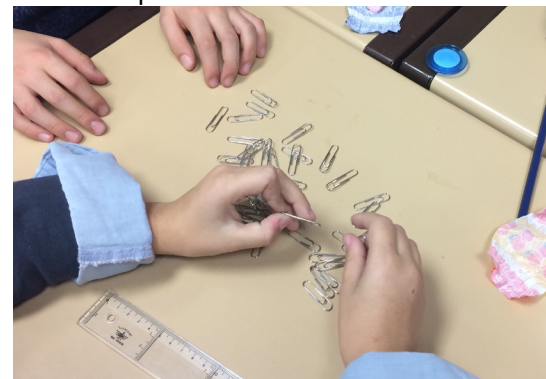
JUEGA Y CREA

Para introducir al alumnado en el mundo de los imanes, es muy importante presentar el tema a través de una situación problemática. Con ella, se debe tratar de potenciar el interés y la curiosidad de los niños y de las niñas para saber más sobre los imanes; las opciones son múltiples y dependen de los intereses e inquietudes de su alumnado. Una opción podría ser utilizar una serie de dibujos animados donde uno de los protagonistas utilice su ingenio para resolver un problema concreto:

<https://www.youtube.com/watch?v=XRxf2qvJTM>

Introduciremos un espacio de debate para poner en común todo aquello que conozcan sobre los imanes y sus propiedades. Nuestro rol será el de “moderador/a”: el intercambio de opiniones será a través de preguntas, tales como: *¿qué sabéis sobre los imanes? ¿Utilizáis imanes en vuestra vida diaria? ¿Para qué? ¿Conocéis algún objeto o aparato que incluya imanes en su mecanismo?* Estas ideas previas deben ser consideradas como el punto de partida y posteriormente ser comparadas con el nuevo conocimiento generado.

Organizaremos cuatro espacios diferentes donde los niños y niñas puedan jugar, explorar y descubrir algunas de las características de los imanes. Estos espacios deben estar diseñados para dar respuesta a las siguientes preguntas:



- Espacio 1: ¿Qué tipo de objetos son atraídos por los imanes?
- Espacio 2: ¿Pueden los imanes atraerse entre ellos?
- Espacio 3: ¿Pueden los imanes atraer objetos cuando hay una superficie que los separa?
- Espacio 4: ¿Tienen los imanes diferentes potenciales?

Una vez que los grupos están formados, les apoyaremos durante el proceso de exploración a través de la formulación de preguntas que les ayuden a organizar y asimilar esta nueva información.

Vamos a dedicar unos minutos a cada uno de los grupos y sin dudar en utilizar la repetición hasta que identifique cómo sus alumnos y alumnas muestran un cambio en su discurso y en sus actuaciones. Siempre debemos animar el intercambio y la cooperación para explicar y compartir observaciones, teniendo en cuenta que el lenguaje es un elemento indispensable para adquirir un aprendizaje verdaderamente significativo.

También podríamos repartir algunas fichas visuales adaptadas a las necesidades y habilidades de los aprendices donde puedan comunicar lo que están haciendo con fotografías o dibujos.



¡RECUERDA!

Las hipótesis son predicciones sobre un fenómeno basadas en la evidencia. Los niños y las niñas formulan hipótesis a partir de su propia experiencia por lo que no existen las hipótesis correctas o incorrectas, solamente posibles explicaciones a un determinado evento.

DISEÑA-EXPERIMENTA-EVALÚA

Una vez que nuestro alumnado se ha familiarizado con los materiales disponibles, ha observado lo que puede hacer con ellos y ha analizado algunas de las características que los definen, es el momento de iniciar y desarrollar el experimento. Nos uniremos para ayudarles a organizar la información que han extraído a través de la observación y guiarles en el diseño del experimento que han de desarrollar para dar respuesta a las cuestiones que se formulan en cada una de las áreas.

Luego, les animaremos a predecir lo que sucederá con los imanes e introduciremos el concepto de hipótesis si lo consideramos apropiado. Aquí se incluyen dos posibles predicciones:

- Espacio 1: Los imanes atraerán las llaves pero no la goma de borrar.
- Espacio 2: Los imanes pueden atraer a otros imanes.

ESPACIO 1 ¿QUÉ OBJETOS PUEDEN SER ATRAÍDOS POR UN IMÁN?	ESPACIO 2 ¿PUEDEN LOS IMANES ATRAERSE ENTRE ELLOS	ESPACIO 3 ¿PUEDEN LOS IMANES ATRAER OBJETOS CUANDO HAY UNA SUPERFICIE QUE LOS SEPARA?	ESPACIO 4 ¿TIENEN LOS IMANES DIFERENTE POTENCIA?
<p>¿Qué necesitamos para llevar a cabo esta indagación?</p> <p>Imanes y diversos materiales de metal y no metal. Puede incluir recipientes con arena o pequeñas piedras mezcladas con algunos de los objetos.</p>	<p>¿Qué necesitamos para llevar a cabo esta indagación?</p> <p>Imanes con diferentes tamaños, formas y pesos.</p>	<p>¿Qué necesitamos para llevar a cabo esta indagación?</p> <p>Imanes, papel, cartón, madera, plástico y un cubo con agua entre otras opciones y objetos que sean atraídos por los imanes.</p>	<p>¿Qué necesitamos para llevar a cabo esta indagación?</p> <p>Imanes con diferentes potenciales y clips.</p>

ESPACIO 1 ¿QUÉ OBJETOS PUEDEN SER ATRAÍDOS POR UN IMÁN?	ESPACIO 2 ¿PUEDEN LOS IMANES ATRAERSE ENTRE ELLOS	ESPACIO 3 ¿PUEDEN LOS IMANES ATRAER OBJETOS CUANDO HAY UNA SUPERFICIE QUE LOS SEPARA?	ESPACIO 4 ¿TIENEN LOS IMANES DIFERENTE POTENCIA?
<p>¿Qué debe hacer el alumnado? Clasificar los objetos en dos categorías: objetos atraídos por los imanes y objetos que no lo son.</p>	<p>¿Qué debe hacer el alumnado? Colocar los imanes en serie. Al principio, marque la polaridad de los imanes con pegatinas rojas y azules. Una vez realizada esta primera parte, invítelos a rehacer la serie, pero esta vez sin marcar la polaridad.</p>	<p>¿Qué debe hacer el alumnado? Comprobar si los imanes pueden atraer objetos cuando hay una superficie entre ellos y clasificar dichas superficies.</p>	<p>¿Qué debe hacer el alumnado? Identificar cuántos clips son atraídos por los imanes con diferentes potencias. Intente usar imanes que atraigan un número de clips que puedan ser contados por un niño/a de cuatro años, de esta forma se puede practicar el conteo y los números. De no ser así se puede trabajar la comparación de cantidades.</p>
<p>¡Hazles pensar y razonar! <i>¿Los objetos agrupados comparten alguna característica?</i></p>	<p>¡Hazles pensar y razonar! <i>¿Qué colores se atraen y cuáles se repelen? ¿En todos los imanes ha pasado lo mismo?</i></p>	<p>¡Hazles pensar y razonar! <i>¿Puede un imán atraer un objeto cuando hay superficie que los separa? ¿Influye el grosor de la superficie en la capacidad de atracción del imán? ¿Podrías inventar un truco de magia incluyendo esta propiedad de los imanes?</i></p>	<p>¡Hazles pensar y razonar! <i>¿Todos los imanes atraen al mismo número de clips? ¿Se os ocurre alguna utilidad para este fenómeno?</i></p>

COMPARTE Y REFLEXIONA

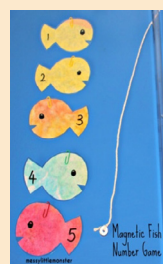
Una vez finalizadas las indagaciones y tras el análisis y razonamiento de los diferentes conceptos relativos a los imanes, es el momento de expresar y compartir los descubrimientos y aprendizajes. En este momento es muy importante servirles de guía a la hora de expresar todo lo que han aprendido con la intención de favorecer la adquisición de las competencias necesarias para expresar y comprender el lenguaje científico.

Ahora, podemos introducir un robot simple para consolidar el conocimiento generado durante el proceso de indagación. Formularemos algunas cuestiones relacionadas con el tema y permitiremos que programen el robot para encontrar la respuesta en un tablero. Esta es una muy buena manera de introducir a los y las escolares en el mundo de la programación. Por otro lado, para el alumnado de cursos superiores se puede mostrar cómo se comportan los imanes utilizando la técnica de animación "Stop Motion" donde puedan dibujar los vectores y las líneas de campo. A continuación se incluye un enlace donde poder ver un buen ejemplo de esta técnica de animación:

<https://vimeo.com/40950441>

“

¿QUÉ NECESITÁIS?



Una cartulina con diferentes figuras geométricas, animales, números o letras.

Tijeras, pinturas, pegamento, cordones, palos y clips.

EL PROCESO DE INGENIERÍA

Ha llegado el momento de diseñar y construir un juguete magnético. El proceso empezará con una lluvia de ideas sobre el significado de "Ingeniería" y con la definición de los pasos que estructuran este proceso. Mantendremos los grupos establecidos y daremos un apoyo adecuado para consolidar el nuevo conocimiento en cada uno de los pasos.

DISEÑA-EXPERIMENTA-EVALÚA

Llevaremos diferentes modelos de juguetes magnéticos y formularemos preguntas que les permitan definir el prototipo que van a crear.

Si queréis construir un juguete magnético, ¿qué cosas debéis preguntaros?:

- *¿Qué queremos construir?*
- *¿Qué materiales necesitamos?*
- *¿Cómo lo construiremos?*
- *¿Qué propiedad de los imanes debemos tener en cuenta?*

Después, invitaremos a los estudiantes a reflexionar sobre cómo responder a dichas cuestiones y les permitiremos compartir sus opiniones e ideas.

En este momento, los alumnos y alumnas deben desarrollar una idea sobre cómo será su juguete magnético y valorar las conclusiones previamente definidas. Animamos la creatividad y alabamos la iniciativa.

Una vez que el prototipo está diseñado, los niños y niñas deben reunir los materiales descritos en la lista de imágenes unida a cada modelo de juguete.

Ahora, ¡a poner las manos en la masa porque es la hora de dibujar, pintar, cortar, pegar y... probar!

¿Tiene vuestro juguete alguna función magnética? ¿Cambiarías algo de vuestro modelo? Con nuestra ayuda, han de evaluar sus creaciones y modificarlas. ¡Todo es susceptible de ser mejorado!

COMPARTE Y REFLEXIONA

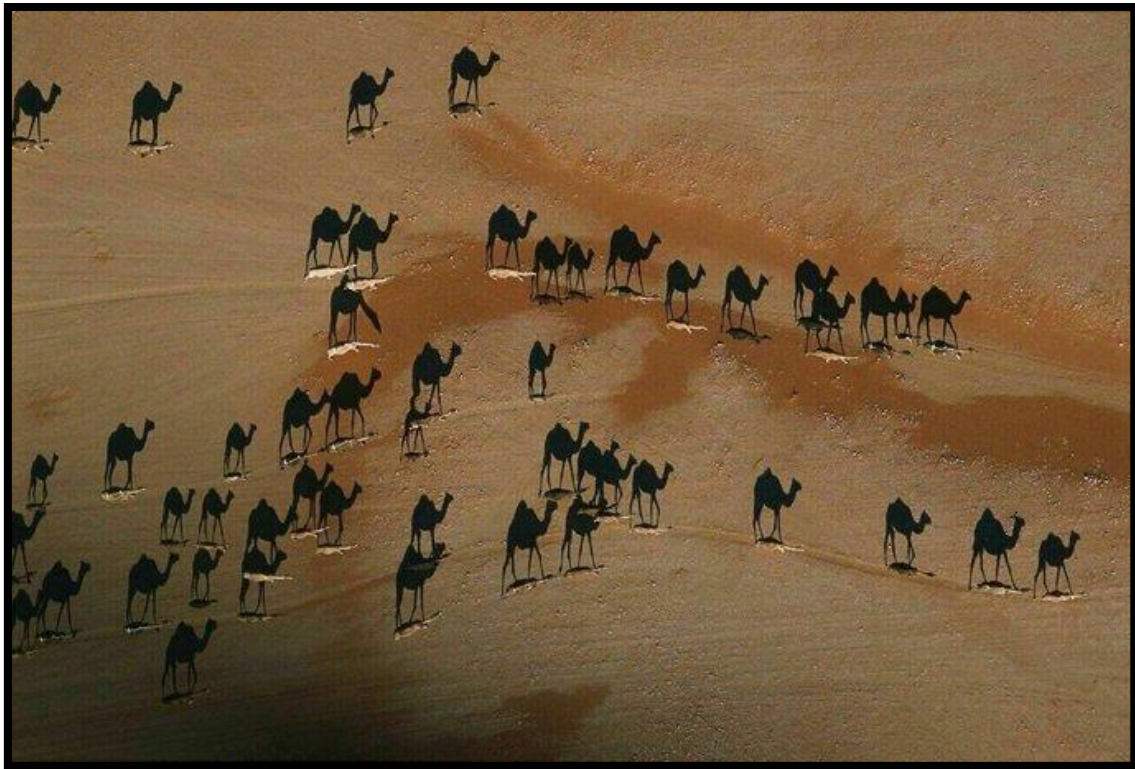
Permite a los estudiantes mostrar y explicar al resto de la clase en qué consisten sus juguetes magnéticos, por qué han elegido ese modelo, cómo lo han construido, qué función cumplen los imanes en el juguete y cómo se han sentido durante el proceso y una vez que lo han finalizado entre otras posibilidades.

COMPARA-COMPITE

Finalmente, unimos a todo el aula para compartir e intercambiar impresiones, por ejemplo, subrayando aquellas características que más les gustan y el porqué. ¡Recibir una retroalimentación positiva por parte de nuestros compañeros/as es la mejor de las recompensas!

SECUENCIA DIDÁCTICA

LUZ, SOMBRA, CINE y TEATRO



Ilusiones de Arabia. George Steinmetz (2004)

La luz y la sombra

¿QUÉ CONOCIMIENTOS QUEREMOS QUE APRENDA NUESTRO ALUMNADO?

- La luz se propaga en línea recta
- La luz procede de una fuente luminosa
- La interacción de la luz con un objeto opaco crea sombras
 - o El tamaño de la sombra depende de la distancia de la fuente luminosa
 - o El número de sombras depende del número de fuentes luminosas
 - o La sombra tiene la forma del objeto opaco que impide el paso de la luz
- La interacción de la luz con el ojo nos permite ver lo que nos rodea

POSIBLES ELEMENTOS CRÍTICOS (Basado en la investigación sobre didáctica de las ciencias)

- La luz como un ente creado a partir de una fuente de luz
- La luz como un ente que se propaga por el espacio
- Los fenómenos de reflexión y absorción de la luz al interactuar con un objeto
- Las sombras como área de oscuridad que varía en intensidad dependiendo de la cantidad de luz
- El rol del ojo como receptor

La sombra debe ser comprendida como la anti-imagen, o una ausencia de luz como resultado del bloqueo de los rayos de luz por un objeto opaco.

¿QUÉ SIGNIFICA QUE HAN COMPRENDIDO ESTOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS?

- Son capaces de explicar por qué se generan sombras en un día soleado pero no durante la noche o cuando el día está muy nublado.
- Son capaces de dar solución/explicación al porqué de la utilización de diferentes materiales en diferentes situaciones cotidianas (como por ejemplo cómo diseñar una caja que permita proteger una planta de tal forma que entre la cantidad adecuada de luz que la mantenga con vida, cómo colocar la sombrilla en la playa dependiendo de dónde se sitúe el sol, porqué y para qué construir un invernadero, etc.)

¿CÓMO QUEREMOS QUE APRENDAN?

- Partiendo de sus ideas previas
- Guiados por la maestra
- A través de la argumentación y del diálogo
- Trabajando de forma colaborativa
- Utilizando el método científico y el proceso de diseño en ingeniería, es decir, no centrarnos en las demostraciones si no partiendo de un problema inicial que deba ser resuelto utilizando la indagación y la ingeniería.

¿CÓMO QUEREMOS QUE APLIQUEN EL CONOCIMIENTO ADQUIRIDO AL FINAL?

- Creando un corto/teatro de sombras en el que puedan aplicar el conocimiento científico generado.

¿QUÉ DIFICULTADES PUEDEN ENCUENTRAR LOS NIÑOS Y LAS NIÑAS PARA GENERAR CONOCIMIENTO CIENTÍFICO SOBRE LAS SOMBRAS?

- Identifican las sombras como entes autónomos
- No perciben la relación entre luz y objetos opacos
- Atribuyen a las sombras las propiedades de los objetos y no reconocen el papel de la luz
- Tiene dificultades para determinar la posición de la sombra de un objeto opaco
- No relacionan el número de focos de luz y el número de sombras creadas

RELACIÓN ENTRE LOS CONCEPTOS RELACIONADOS CON LA LUZ Y LAS SOMBRAS

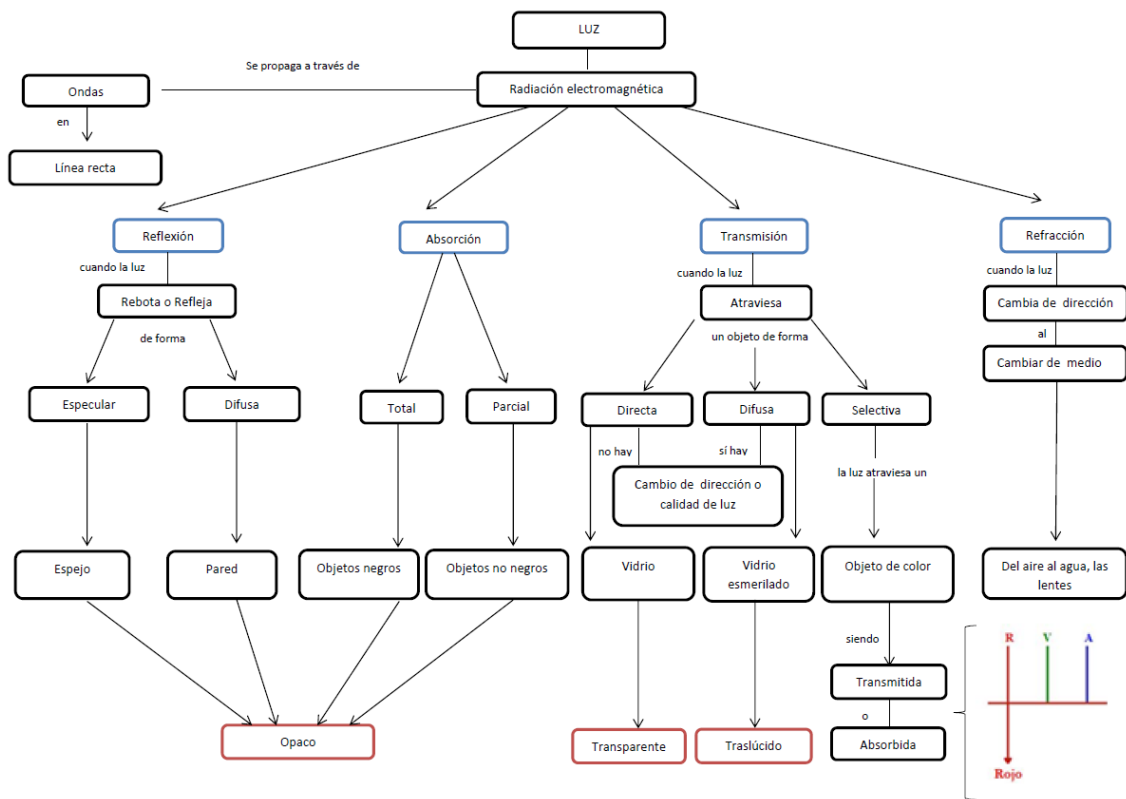


Figura 1: Mapa conceptual sobre la luz y sus propiedades

Durante la secuencia no se trabajan todos estos conceptos. Es solo un mapa conceptual para centrar el objeto de estudio.

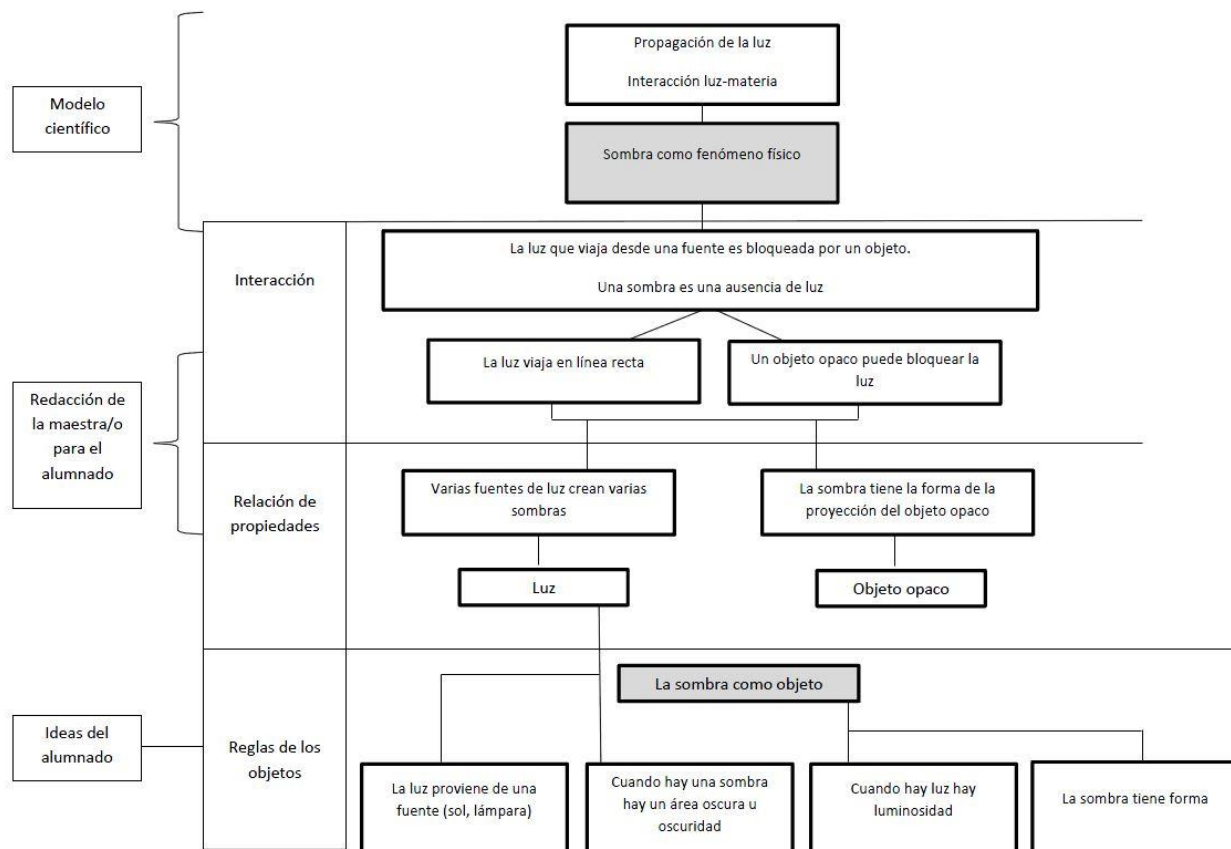
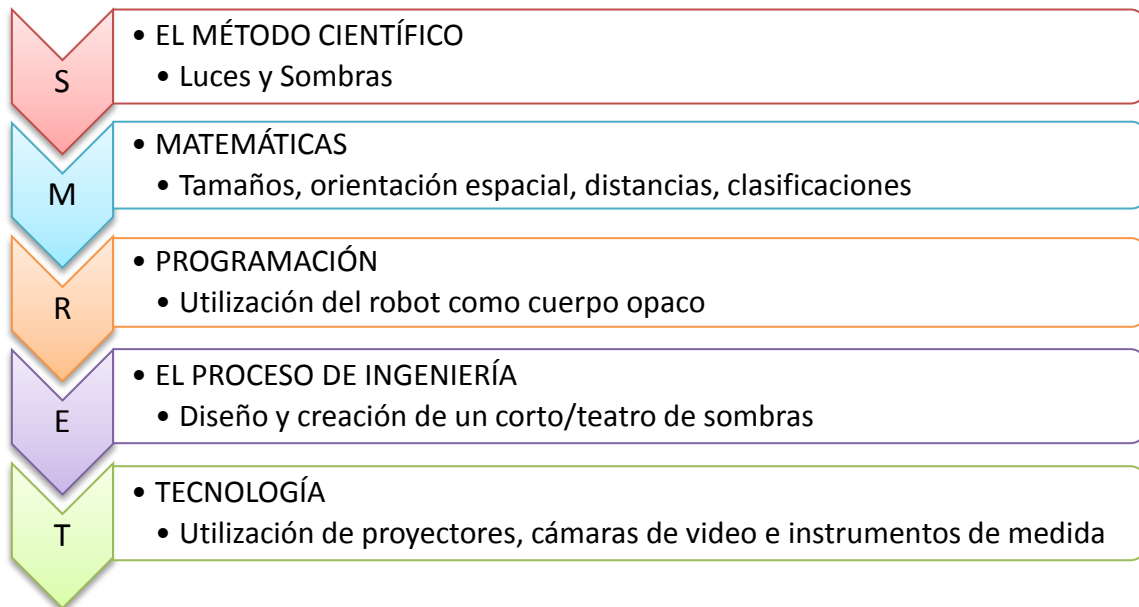


Figura 2: Presentación del modelo precursor de la formación de sombras y los pasos identificados en la representación de los niños y niñas, desde la sombra vista como objeto material hasta la primera comprensión de la sombra como fenómeno físico. Traducción de Delserieys, A. et al. (2018).

La intención es que partiendo de abajo, las ideas del alumnado sirvan de andamiaje para ir construyendo de forma progresiva modelos cada vez más científicamente correctos.

Delserieys, A., Jégou, C., Boilevin, J. M., & Ravanis, K. (2018). Precursor model and preschool science learning about shadows formation. *Research in Science & Technological Education*, 36(2), 147-164.



ESQUEMA DE LA SECUENCIA

1. Espacios de juego
 - a. Espacio 1: **¿Qué necesitamos para ver?** La interacción de la luz con el ojo
 - b. Espacio 2: **¿Cómo viaja la luz?** La propagación rectilínea de la luz
 - c. Espacio 3: **¿Podemos crear diferentes tipos de sombras?** La creación de sombras
 - d. Espacio 4: **¿Qué necesitamos para crear las sombras?** Tipos de cuerpo
2. La visión: el ojo y la luz. Breve introducción al método de indagación (Actividad de la caja)
3. Fuentes de luz natural y artificial
4. Mujer célebre en el campo de la luz: Martha Coston
5. Visualización de un corto animado realizado con sombras
 - a. Análisis de los elementos cinematográficos de la proyección
 - b. La sombra como efecto animado
6. Inicio de la secuencia STEM
 - a. Diseña-Experimenta-Evalúa
 - i. Juega y crea. Experiencias 'libres'
 1. Indagación 1: Formación de sombras
 - a. Distancia de la fuente de luz vs tamaño de la sombra
 - b. Posición de la fuente de luz vs orientación de la sombra
 - c. Tipo de fuente de luz vs nitidez de la sombra creada
 - d. La forma del objeto opaco vs forma de la sombra creada
 2. Indagación 2: Tipos de cuerpo
 - a. Clasificación de los diferentes tipos de cuerpo: opacos, transparentes y traslúcidos

3. Indagación 3: Propagación rectilínea de la luz. La cámara oscura y el ojo.

7. Utilización del robot en el proceso de aprendizaje
8. Proceso de ingeniería. Creación de un corto/teatro de sombras
9. Ciencia y Arte

Es interesante anotar las ideas, hipótesis y preguntas que plantean los niños y las niñas ya que esto nos dará una idea de los conocimientos que poseen acerca del tema, así como para poder compararlo con el conocimiento generado una vez finalizada la secuencia. Esto puede registrarse de forma escrita por las maestras cuando se decida crear una asamblea o a través de dibujos por parte del alumnado (registrando a su vez la explicación que cada uno comparte sobre dicho dibujo).

EL MÉTODO CIENTÍFICO

JUEGA & CREA

(1) Para comenzar con el proyecto vamos a crear espacios de juego en los que los niños y las niñas puedan manipular los materiales y experimentar de forma 'libre' los conceptos que van a trabajar durante la secuencia. De esta forma, el alumnado podrá ir familiarizándose de forma natural con los conceptos que se van a trabajar y además podrán ir relacionando estas acciones con sus conocimientos espontáneos. Los espacios se pueden dividir teniendo en cuenta los conceptos y materiales que se van a trabajar:

- Espacio 1: la interacción de la luz con el ojo
- Espacio 2: propagación rectilínea de la luz
- Espacio 3: creación de sombras
- Espacio 4: tipos de cuerpo

Durante este tiempo es muy importante que las niñas y niños expresen lo que están haciendo y viendo, que traten de construir una explicación a los fenómenos que acontecen. Para ello es necesario que se les guíe a través de preguntas. Una vez que el tiempo de juego finalice es el momento de compartir impresiones y de animarles a generar más preguntas. (Durante el tiempo de juego el alumnado posiblemente formule muchas preguntas, tratad de anotarlas para poder darles respuesta).

ESPACIO 1 ¿Qué necesitamos para ver?	ESPACIO 2 ¿Cómo viaja la luz?	ESPACIO 3 ¿Podemos crear diferentes tipos de sombras?	ESPACIO 4 ¿Qué necesitamos para crear sombras?
¿Qué necesitamos para llevar a cabo esta indagación? Antifaces, parches, cajas con un orificio, cajas con dos orificios	¿Qué necesitamos para llevar a cabo esta indagación? Linternas, peines, cámaras oscuras, cartulinas opacas, traslúcidas y transparentes	¿Qué necesitamos para llevar a cabo esta indagación? Diferentes objetos opacos, linternas y cartulinas con diferentes aberturas para colocar en las linternas	¿Qué necesitamos para llevar a cabo esta indagación? Diferentes objetos opacos, traslucidos y transparentes y linternas
¿Qué deben hacer los alumnos/as? Analizar los elementos	¿Qué deben hacer los alumnos/as? Reflexionar sobre cómo viaja	¿Qué deben hacer los alumnos/as? Crear sombras utilizando el	¿Qué deben hacer los alumnos/as? Descubrir qué elementos

necesarios para ver	la luz	material que se les proporciona, así como su propio cuerpo	son precisos en la formación de sombras
¡Hazles pensar y razonar! ¿Por qué no podemos ver cuando la habitación está oscura? ¿Por qué crees que pasa esto?	¡Hazles pensar y razonar! ¿Por qué no podemos ver a través de una pared de ladrillo y sí a través de un cristal? ¿Por qué utilizamos viseras en verano?	¡Hazles pensar y razonar! ¿Cómo podrías crear la sombra de un dragón? ¿Podrías crear más de una sombra a la vez? ¿Por qué crees que hay sombras de diferentes tamaños? ¿Qué pasa si alumbras desde arriba? ¿Se crea alguna sombra? ¿Por qué?	¡Hazles pensar y razonar! ¿Has visto alguna vez tu sombra? ¿Por qué a veces está y otras no? ¿Se pueden crear sombras de colores?

(2) Ahora, nos centramos en uno de los espacios de juego: la interacción de la luz con el ojo. En este proyecto sobre la luz y el cine/teatro, es importante trabajar el concepto de visión que aunque pueda parecer simple en un principio, suele estar ligado a una serie de concepciones erróneas. Por ello, inicialmente trabajamos con las ideas previas del alumnado y con las experiencias de juego vividas previamente: *¿qué necesitamos para ver? ¿Qué pasa cuando te tapas un ojo? ¿Y los dos? (lo comprobamos).*

¿Qué pasa cuando estamos con los ojos abiertos en un sitio oscuro? ¿Podemos ver?

La idea es que a través de la experimentación identifiquen que para ver no solo necesitamos los ojos, sino también la luz.

Para seguir trabajando este aspecto relativo a la visión, les ofrecemos un pequeño reto que puede ser resuelto rápidamente utilizando para ello el método científico de investigación. El reto consiste en comprobar qué hay dentro de una caja cerrada (esta caja contará con dos orificios cerrados con tapones de botella).

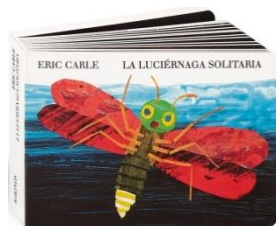
Proceso:

- Observa: ¿Por qué no podemos ver lo que hay dentro de la caja?
- Busco información: ¿Qué es necesario para poder descubrir lo que hay dentro?
- Hipótesis: Con la información que tengo, ¿qué creo que ocurre?
- Experimenta: ¿Qué podemos hacer para resolver el problema?
- Extrae conclusiones: ¿Se confirma lo que creíamos al comienzo?
- Comparte lo que has descubierto

El objetivo de esta parte es comprobar que aunque destapemos un orificio para mirar con nuestro ojo lo que hay dentro de la caja, necesitamos abrir el segundo orificio para que entre la luz y poder identificar qué objeto se encuentra encerrado. No es suficiente mirar con nuestros ojos, la percepción visual también precisa de la luz.

(3) En este momento, podemos aprovechar para trabajar con las diferentes fuentes de luz, tanto naturales (el Sol, las estrellas) como artificiales (las bombillas, el fuego) y acerca de los beneficios que reporta a nuestra vida diaria. Un recurso interesante para trabajar las fuentes

de luz es el cuento de Eric Carle, *La luciérnaga solitaria*. Este cuento podemos encontrarlo en la biblioteca pública de Burgos (En la plaza San Lesmes) bajo la signatura I AMA mun.



(4) Además, esta es una buena oportunidad para hablar de alguna mujer célebre de la historia que ha trabajado o trabaja con la luz. Por ejemplo: Martha Coston, inventora estadounidense que inventó las bengalas luminosas para enviar señales que permitieran la comunicación entre barcos cuando aún no existían los radios.

(5) A continuación, continuamos con la visualización de un corto realizado con sombras. Esta proyección permitirá analizar los elementos cinematográficos que han estado viendo durante el curso (géneros, profesionales del cine, planos de rodaje, banda sonora, partes de una película, etc.), pero además será el punto de partida de la secuencia didáctica STEM sobre la luz.

Cortometraje: Malaika La princesa <https://www.youtube.com/watch?v=T0uJrBGUKbU>

(6) DISEÑA-EXPERIMENTA-EVALÚA

Una vez que los niños/as se han familiarizado con los materiales disponibles, han observado lo que pueden hacer con ellos, han reflexionado sobre algunas de sus características y han analizado el cortometraje y la utilización de la sombras como efecto animado, es el momento de diseñar y desarrollar la experimentación. Es importante permitir al alumnado que exprese en voz alta aquello que ha descubierto durante el tiempo de juego.

(6.1) Indagación 1: Creación de sombras. La propagación rectilínea de la luz

Para comprender qué son las sombras y cómo se forman es imprescindible comprender que la luz viaja en línea recta por el espacio. Por ello, retomamos el espacio de juego número 3 donde los niños y las niñas tuvieron contacto con este fenómeno. En esta parte vamos a trabajar utilizando el cuerpo como objeto opaco que bloquea el paso de la luz y crea como consecuencia una sombra.

Inicialmente, vamos a favorecer a través del movimiento un mayor número de experiencias relacionadas con las sombras. Para ello utilizamos un foco, el panel del proyector, el cuerpo y la imaginación. *¿Cómo crearíais una sombra con forma de árbol/ de letra P/ de pájaro?* Para esta actividad hay miles de posibilidades, por ejemplo: pedimos a tres o cuatro participantes que representen una frase (que puede formar parte de un cuento): *En el bosque ya solo quedaba un árbol viejísimo ¡tenía más de cien años! Y dos pajarillos, uno de ellos grande y fuerte y el otro pequeño y débil.* Cada uno de los niños/as debe representar con sombras uno de los personajes. De esta forma deberán tener en cuenta dónde y a qué distancia del foco situarse para que los tamaños varíen, pero lo trabajamos de una forma libre.

Una vez finalizada esta parte de juego, comenzamos a analizar las propiedades de la sombra. En cada una de las situaciones que se plantean a continuación, es necesario que animemos al alumnado a que prediga lo que va a pasar para posteriormente experimentar, recoger datos y extraer conclusiones.

Experimento 1.1

- Variable independiente: diferentes distancias entre el foco y el objeto opaco (el cuerpo)
- Variable dependiente: el tamaño de la sombra creada
- Variable de control: objeto opaco (el propio cuerpo/el robot), mismo foco y desde la misma posición

En esta indagación la recogida de datos se puede realizar utilizando cuerda, lana, etc. para medir el tamaño de cada una de las sombras creadas y colocarlas en la pizarra. De esta forma se pueden comparar las diferencias de tamaño en relación a la distancia entre el foco y objeto opaco de una forma cualitativa.

Experimento 1.2

- Variable independiente: la posición de la fuente de luz
- Variable dependiente: la orientación de la sombra creada
- Variable de control: objeto opaco (el propio cuerpo/el robot), mismo foco, a la misma distancia

Experimento 1.3

- Variable independiente: el tamaño de la fuente de luz
- Variable dependiente: la nitidez de la sombra
- Variable de control: objeto opaco (el propio cuerpo/el robot), a la misma distancia y desde la misma posición.

Para este experimento se puede usar un mismo foco de luz y colocarle cartulinas con orificios de distintos tamaños que vayan ajustando la nitidez de la sombra.

Experimento 1.4

- Variable independiente: la forma del objeto
- Variable dependiente: la forma de la sombra
- Variable de control: mismo foco, a la misma distancia y desde la misma posición.

Una posible actividad en este momento podría ser perfilar la sombra creada.

Durante esta parte, podría resultar útil utilizar la analogía, en este caso con el agua. Una corriente de agua cuando se encuentra con un obstáculo divide la corriente en dos, pero esta se vuelve a unir creando una sola corriente una vez salvado dicho obstáculo. Pero en el caso de la luz una vez que los rayos se encuentran con un objeto que bloquea su paso, estos se dispersan en línea recta lo que impide que puedan volver a unirse una vez salvado el objeto opaco, creando como consecuencia una sombra. Este fenómeno puede ser visto utilizando un

peine y una linterna o cuando los rayos de sol entran por la ventana y chocan con las particular de polvo.

(6.2) Indagación 2: Tipos de cuerpos. ¿La luz traspasa los objetos?

- Variable independiente: objetos opacos, traslúcidos y transparentes.
- Variable dependiente: la luz a través de los objetos
- Variable de control: mismo foco, a la misma distancia y desde la misma posición.

Permitimos al alumnado que lance sus hipótesis, para a continuación experimentar qué es lo que ocurre. Con los resultados adquiridos se clasifican los objetos y se extraen las conclusiones. Es importante que el conocimiento que se está generando sea aplicado a situaciones cotidianas, como por ejemplo en el porqué del uso de dichos materiales en la construcción/diseño de una casa, de una tienda, de un museo, de un producto... *¿Por qué las ventanas del baño son traslúcidas? ¿Qué material utilizan en el MEH para mostrarnos los fósiles que se han descubierto? ¿Qué material se utiliza en los invernaderos? ¿Por qué? ¿Para qué utilizaríais vosotros materiales opacos/ transparentes/ traslúcidos?* De esta forma no solo extrapolamos los conocimientos adquiridos a diferentes situaciones, sino que también es una buena forma de que los alumnos y alumnas argumenten y razonen sobre los resultados obtenidos para extraer conclusiones.

Indagación 2.1: Tipos de cuerpos y formación de sombras

Una vez clasificados los objetos, lanzamos otra pregunta, *¿qué materiales/ambientes necesitamos para crear sombras?* Seguimos el mismo proceso anterior: hipótesis, experimentación, resultados y conclusiones.

- Variable independiente: objetos opacos, traslúcidos y transparentes.
- Variable dependiente: la sombra creada.
- Variable de control: mismo foco, a la misma distancia y desde la misma posición.

Una vez finalizados todos los experimentos, como forma de evaluar y analizar el progreso en el conocimiento adquirido les podemos pedir que vuelvan a dibujar (o escribir) cómo se crean las sombras y que expliquen sus dibujos. De esta forma los niños y niñas tendrán la oportunidad de expresar gráfica y oralmente sus conocimientos.

(6.3) Indagación 3: Propagación rectilínea de la luz. El ojo y la cámara oscura.

(Esta indagación está inspirada en una actividad realizada en diferentes centros de La Rioja y publicada en el portal del Csic. Esta y otras actividades pueden ser encontradas en http://www.csicnlaescuela.csic.es/proyectos/optica/experiencias/LA_RIOJA/2016/ProyectoOptica%20La%20Rioja.pdf)

Retomamos el concepto de propagación rectilínea de la luz y para ello volvemos a lanzar la siguiente pregunta: *¿cómo viaja la luz?* Este fenómeno ya ha sido visto en las indagaciones previas por ello, es importante hacerles reflexionar y recordar lo visto con anterioridad y darles la opción de dar ideas para comprobarlo.



Imagen de ArtTower en Pixabay

Una vez revisado ese concepto, presentamos la cámara oscura y les dejamos manipularla, *¿qué veis? ¿Pasa algo raro con imagen que se proyecta?* En este momento lanzamos otra pregunta: *¿por qué creéis que se ve la imagen al revés?* Les animamos a lanzar hipótesis que expliquen dicho fenómeno.

En esta ocasión vamos a utilizar la representación para analizar el porqué de la inversión de la imagen. Esta es una buena oportunidad para ir recuperando el conocimiento trabajado previamente. Para ello, representamos los rayos de luz con cuerdas o lana y una anilla que cumpla el papel del orificio.

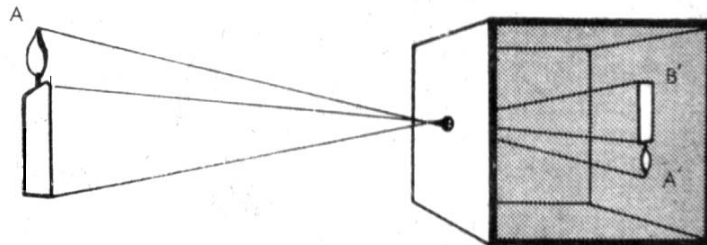


Imagen extraída de Google

En este momento se puede introducir el símil con el ojo, siendo la pupila el orificio por donde entra la luz y la retina la superficie en la que se proyecta la imagen y añadir que es el cerebro el que interpreta esa información e invierte de nuevo la imagen para que podamos percibirla de la forma adecuada.

(7) Utilización del robot en el proceso de aprendizaje (esta sección puede ser integrada en el momento que se considere necesaria). Los alumnos y alumnas deben programar el robot para que se desplace hasta la posición adecuada que permita la formación de su sombra, siguiendo las instrucciones de la maestra. Para ello, creamos una cuadrícula por la que pueda desplazarse el robot, colocamos una fuente de luz y pedimos a los niños/as que lo sitúen en la casilla que crean adecuada para formar la sombra del robot, el siguiente niño/a puede ser instado a que desplace el robot hacia la casilla que haga que la sombra del robot sea más grande o más pequeña. Las posibilidades son variadas.

(8) EL PROCESO DE INGENIERÍA

Ha llegado el momento de diseñar y crear un corto/teatro de sombras. Para ello es importante que tengamos en cuenta el proceso de diseño de ingeniería. Preguntar, Imaginar, Planear, Crear, Mejorar y Compartir. El objetivo es aplicar los conocimientos adquiridos hasta el momento para crear un corto/teatro de sombras.

- Preguntar: ¿Qué es lo que queremos hacer?
- Imaginar: ¿Cómo lo podemos hacer? (Lluvia de ideas)
- Planear: ¿Cuál de todas las posibles soluciones es la más adecuada? (tener en cuenta las limitaciones)
- Crear: Construimos el prototipo
- Probar: ¿Funciona?
- Mejorar: ¿Qué podemos mejorar?
- Compartir: Compartimos nuestra creación con otros grupos

Si se considera adecuado cada niño y cada niña puede asumir un papel en el desarrollo del corto/teatro y repasar así las profesiones del mundo de las artes escénicas. De tal forma que haya actrices y actores, directores/as, responsables del atrezzo, cámaras, etc.

(9) CIENCIA Y ARTE

Aplicando las propiedades que hemos aprendido durante la indagación, el aula puede ser un buen espacio para crear una obra de arte a lo GRANDE. Aprovechando las ventanas del aula los niños y las niñas pueden crear un gran collage (o móviles para colgar en el techo) con láminas de material translucido de colores que permita crear en el aula un espacio multicolor. En el siguiente enlace se puede ver un taller del estudio de arquitectura AJO que muestra un ejemplo de cómo poder trabajarlo.

https://www.enelajo.es/portfolio_page/vidrieras-catedral-de-burgos/

Bibliografía utilizada:

- Delserieys, A., Jégou, C., Boilevin, J. M., y Ravanis, K. (2018). Precursor model and preschool science learning about shadows formation. *Research in Science & Technological Education*, 36(2), 147-164.
- Impedovo, M. A., Delserieys-Pedregosa, A., Jégou, C., y Ravanis, K. (2017). Shadow formation at preschool from a socio-materiality perspective. *Research in Science Education*, 47(3), 579-601.

A tener en cuenta:

- ¿Por qué mi sombra se ve negra y la del papel transparente se ve del color del papel?

Otros recursos:

- Juego de luces. Hervé Tullet. Biblioteca pública de Burgos | AMA jue