

ANÁLISIS DE MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CANTIDADES IRREGULARMENTE DISTRIBUIDAS

Analysis of models for the estimation of irregularly distributed quantities

Montejo-Gámez, J.^a, Fernández-Ahumada, E.^b, Martínez-Jiménez, E.^b y Adamuz-Povedano, N.^b

^aUniversidad de Granada, ^bUniversidad de Córdoba

Resumen

Este estudio analiza los modelos que desarrollan futuros maestros de primaria al resolver una tarea de estimación de grandes cantidades en las que los objetos a contabilizar se distribuyen de manera irregular sobre una superficie. Para ello se preguntó a una muestra de 26 estudiantes del Grado en Educación Primaria el número de asistentes a la investidura de Barack Obama a partir de una imagen de satélite. Para el análisis de las producciones obtenidas se definieron unidades de análisis pertinentes cuyo estudio permitió identificar cuatro tipos de modelos, cuya relación con las estrategias exploradas en la literatura se describen y discuten. También se observó que el carácter irregular de la distribución de las personas en la imagen fue abordado matemáticamente en la mitad de los casos.

Palabras clave: *Estimación, Problemas de Fermi, Aprendizaje de la modelización matemática, Maestros en formación inicial*

Abstract

This study analyses the models that future primary school teachers develop when solving a large quantity estimation task in which the objects to be counted are distributed irregularly over a surface. To do so, a sample of 26 students enrolled in the primary teacher's degree were asked to estimate the number of people attending Barack Obama's inauguration based on a satellite image. For the analysis of the productions obtained, relevant units of analysis were defined, the study of which made it possible to identify four types of models, whose relationship with the strategies explored in the literature is described and discussed. It was also observed that the irregular nature of the distribution of people in the image was dealt with mathematically in half of the cases.

Keywords: *Estimation, Fermi problems, Learning of mathematical modelling, Prospective primary teachers*

INTRODUCCIÓN

Los beneficios de incluir la modelización como parte de la educación matemática escolar son hoy en día reconocidos por los currículos de los diferentes niveles educativos y por los investigadores en educación matemática, tanto a nivel nacional (Ferrando, 2019) como internacional (Ärlebäck y Albarracín, 2019; Stillman et al., 2015). En el ámbito de la formación inicial del profesorado, el trabajo con tareas de modelización es idóneo, ya que plantear este tipo de tareas a futuros profesores les proporciona ejemplos de enseñanza que después ellos mismos pueden aplicar (Doerr, 2007), estimulando así su reflexión sobre el significado de los contenidos matemáticos escolares (Kaiser et al., 2006). Además, la modelización contribuye al fomento de actividades propias de la práctica matemática como el razonamiento, la formulación de hipótesis para la resolución de problemas (Fernández-Ahumada y Montejo-Gámez, 2019; Kämmerer, 2023) y la comunicación matemática (Barquero, 2022). En el contexto de la formación inicial del profesorado de primaria, particularmente, surge el interés por la investigación de tareas que estimulen estas actividades a partir de la aplicación

de contenido matemático de la educación primaria. Las tareas de estimación son relevantes en este sentido, y constituyen el foco teórico del presente trabajo.

MARCO TEÓRICO Y PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

La estimación en educación matemática se puede entender como un “juicio sobre el valor del resultado de una operación numérica o de la medida de una cantidad, en función de circunstancias individuales del que lo emite” (Segovia et al., 1989, p. 18). La elaboración de este tipo de juicios es una actividad idónea en la formación de futuros maestros de primaria, ya que estimula su reflexión sobre el orden de magnitud de los números (De Castro et al, 2004), y la pertinencia de encontrar valores exactos o aproximados a problemas contextualizados, ampliando así la perspectiva de este alumnado universitario sobre las matemáticas (Segovia y Castro, 2009). Numerosos autores utilizan el término problemas de Fermi para referirse a una familia de tareas de estimación especialmente relevantes en este sentido. Estos problemas de Fermi consisten en una pregunta abierta y no rutinaria, cuya resolución obliga a los estudiantes a establecer hipótesis sobre la situación en la que se plantea la pregunta y a estimar el valor de cantidades necesarias para dar una respuesta a partir de cálculos sencillos (Ärlebäck, 2009).

La investigación de problemas de Fermi orientados a la estimación de grandes cantidades sobre una superficie delimitada ha sido especialmente prolífica. En particular, Albarracín y Gorgorió (2014) y Ferrando et al. (2017) identificaron, desde diferentes metodologías, las estrategias que los estudiantes de educación secundaria aplicaron para resolver tareas de este tipo. Estas estrategias fueron contrastadas en otros estudios como el de Ferrando y Albarracín (2021), que incluyó alumnado de educación primaria. En el contexto de formación inicial de maestros de primaria, Segura (2022) describió y discutió cuatro categorías que sintetizan las estrategias de estimación que emergieron al plantear secuencias de tareas de este tipo a estudiantes del grado de magisterio, y que sirven de referencia para el presente estudio. La primera de ellas es la de Recuento exhaustivo, que engloba todas aquellas estrategias que buscan cuantificar directamente la cantidad de objetos que se desea estimar. La segunda categoría es la de Linealización, cuyas estrategias están orientadas a reducir la tarea a un problema unidimensional para después dar la estimación final utilizando la respuesta al problema unidimensional planteado. El ejemplo más usual de estrategia de esta categoría se basa en distribuir idealmente los objetos a contabilizar en una retícula de filas y columnas, y aprovechar esta distribución para la estimación. La tercera categoría contiene las estrategias que utilizan una Unidad Base. Estas consisten en la selección de una unidad base o región de la superficie inicial sobre la que se busca la estimación, la cuantificación de la cantidad de objetos que caben en la unidad base, y la multiplicación de esa cantidad por el número de unidades base que componen la superficie inicial. La cuarta categoría, finalmente, incluye estrategias de Densidad, que se fundamentan en calcular el número de objetos que ocupan una unidad de área (metro cuadrado, por ejemplo) y multiplicarlo por el área de la superficie sobre la que se estima.

Las tareas de estimación de grandes cantidades que dan lugar a estas categorías son diversas pero comparten características comunes que, de alguna manera, determinan dichas categorías. Una de las principales es que el área de la superficie inicial sobre la que se estima es mucho mayor que la de los objetos a contabilizar, lo que invita a simplificaciones razonables como ignorar la forma concreta de los objetos a contabilizar, o asumir que estos están distribuidos de manera uniforme sobre la superficie inicial o que la superficie está totalmente ocupada. Estas simplificaciones restringen en cierto modo la actividad de modelización de los futuros maestros y, dependiendo de la situación real de partida, podrían llevar a estimaciones excesivamente imprecisas. Es de interés entonces proponer tareas de estimación que eviten simplificaciones excesivas e investigar cómo los futuros maestros modelizan estas tareas, iniciativa que constituyó el punto de partida del presente trabajo.

Pregunta de investigación y objetivos específicos

Esta comunicación estudia el caso en el que la distribución de los objetos sobre la superficie sobre la que se estima es claramente no uniforme, por lo que se desea responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las características novedosas de los modelos producidos por maestros en formación inicial al abordar una tarea de estimación de grandes cantidades en la que los objetos a contabilizar se distribuyen de manera irregular sobre la superficie en la que se estima?

Para responder a esta pregunta, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

O1: Identificar los modelos producidos por estudiantes del Grado en Educación Primaria para abordar una tarea de estimación en la que los objetos a contabilizar se distribuyen irregularmente sobre la superficie en la que se estima.

O2: Conocer las similitudes y características novedosas de estos modelos frente a las estrategias para abordar tareas de estimación de grandes cantidades encontradas en la literatura.

MÉTODO

El estudio forma parte de una investigación más amplia que busca caracterizar de forma exhaustiva los modelos que emergen para resolver tareas de estimación que generalizan a las mejor estudiadas en la literatura. En esta comunicación se hace una primera exploración con un análisis descriptivo basado en datos cualitativos, según se detalla a continuación.

Tarea, muestra y recogida de datos

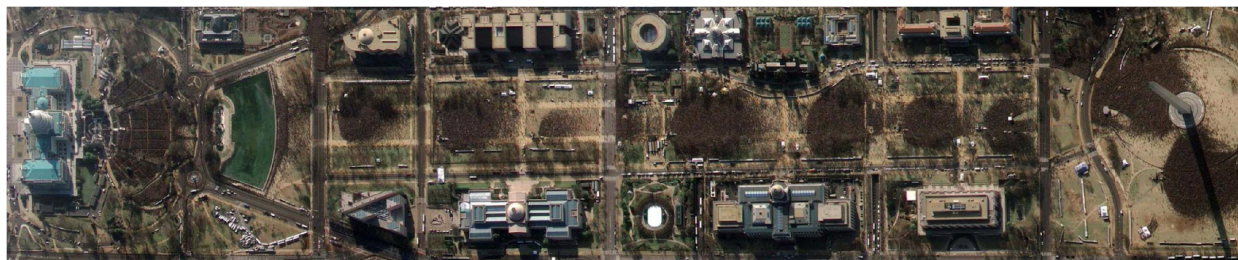
Con el fin de proponer una tarea de estimación de grandes cantidades que incidiera en la distribución irregular de los objetos a estimar, se recurrió al uso de una imagen que mostrara esa situación (Sevinc y Ferrando, 2022). De esta manera se planteó la estimación del número de asistentes a la ceremonia de investidura de Obama como presidente de Estados Unidos a partir de una imagen de satélite del evento, que muestra zonas ocupadas por personas con diferente densidad (Figura 1).

Figura 1. Tarea planteada para el estudio. Fuente: Elaboración propia

Los seguidores del presidente

Barack Obama fue elegido presidente de los Estados Unidos de América en 2009. La asistencia a su ceremonia de investidura fue histórica, y se puede ver en la fotografía de debajo.

Proporciona una estimación de la cantidad de personas que asistieron a la ceremonia de investidura de Obama. Explica tu solución.



Esta tarea se propuso a tres grupos de estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Granada en el contexto de resolución de problemas de medida indirecta. Los estudiantes, que no tenían experiencia previa con tareas de modelización ni de estimación, dispusieron de 90 minutos para responder individualmente a la tarea. Se les permitió interactuar entre ellos y utilizar dispositivos móviles para buscar información, haciéndoles hincapié en que especificaran aquellos datos que habían buscado en internet y la fuente concreta. Además, dada la importancia de la imagen para desarrollar la estimación, esta se repartió impresa en formato apaisado y adicionalmente en versión digital de gran resolución. Al final de la sesión, se recogieron las producciones escritas de los

participantes de los tres grupos, lo que proporcionó una muestra de registros. En este estudio, y por cuestiones de espacio, se presentan los resultados de 26 de ellos, que conforman los datos del estudio.

Análisis de datos

El procedimiento de análisis desarrollado se organizó en dos pasos. En el primero de ellos se seleccionaron las unidades de análisis útiles para identificar el modelo desarrollado en una producción, su relación con las estrategias conocidas y ver en qué medida la producción había considerado la distribución irregular de las personas. Para ello se partió de la noción de modelo propuesta por Montejo-Gómez et al. (2021). En esa conceptualización, un modelo escolar puede describirse a partir de la identificación de tres tipos de elementos: (i) las relaciones y objetos (no matemáticos) del sistema real que se modeliza, (ii) los resultados y objetos matemáticos, tanto aquellos relacionados con el sistema como los puramente conceptuales, que conforman la matematización del sistema real y (iii) el conjunto de representaciones que los estudiantes emplean para expresar la información del modelo. El análisis de los modelos escolares a partir de estos tres elementos es coherente con el análisis del contenido descrito por Fernández-Plaza (2016), que se organiza en términos de la estructura conceptual (comparable a la categoría ii considerada aquí), las representaciones (análoga a la categoría iii), y los modos de uso (correspondiente a i).

Teniendo en cuenta estos tres tipos de elementos y utilizando la descripción de las categorías de Segura (2022) como conocimiento *a priori* sobre los posibles resultados que se podrían encontrar, se seleccionaron tres unidades de análisis. En efecto, con el objeto de identificar la estrategia empleada se recurrió a la observación conjunta de las relaciones y los resultados del modelo, es decir, aquellas afirmaciones que expresan información relacionada con el sistema con el objetivo de dar la estimación: datos que se asumen como válidos, resultados de estimaciones y reglas de cálculo (en este estudio se ha evitado diferenciar entre afirmaciones propias del sistema real y de su matematización, ya que esto no aportaba información relevante para los intereses del estudio). En particular, se prestó atención a aquellas que expresan el modo de llegar a la estimación final, que es el rasgo característico de las estrategias descritas por la literatura previa. El conjunto de estas afirmaciones constituyó la primera unidad de análisis: Fórmula. Por ejemplo, un cálculo que evidencie que se ha multiplicado el área en m^2 de la zona ocupada por gente por el número de personas que caben en $1 m^2$ sería como información propia de esta unidad de análisis. A su vez, las afirmaciones que expresaban los valores numéricos tomados para comenzar las estimaciones se consideraron relevantes para contemplar en qué medida los participantes habían considerado que la distribución de las personas en el dibujo era irregular. Este segundo tipo de afirmaciones constituyeron la unidad de análisis Datos aportados. Por ejemplo, la afirmación “en $1 m^2$ caben 8 personas” sería un dato propio de esta unidad de análisis. Finalmente, se consideró que las representaciones pictóricas dan una visión global de cómo los estudiantes abordaron la estimación, lo que dio lugar a la unidad de análisis Dibujos. La Figuras 2 y 3 debajo muestran ejemplos de información propia de esta unidad de análisis.

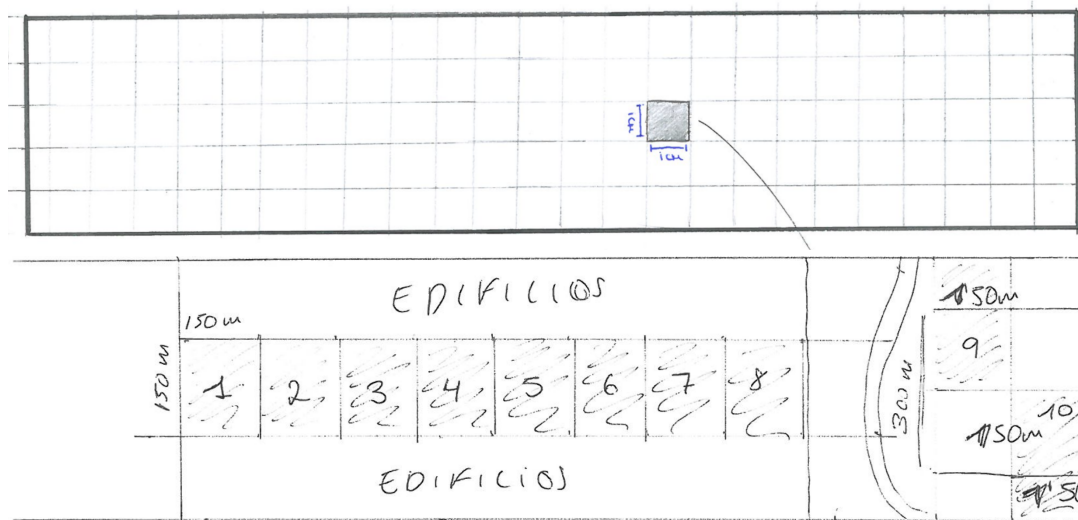
En el segundo paso del análisis, se evaluaron las producciones escritas en términos de las unidades de análisis seleccionadas. Una vez finalizadas estas evaluaciones, la información sobre las Fórmulas se categorizó, comprobándose que no era suficiente para distinguir información relevante sobre los modelos. De igual forma, se observó que había producciones en la misma categoría de Fórmulas y con el mismo Dibujo, pero que modelizaban de forma diferente la distribución irregular de las personas en la imagen de la tarea. Finalmente, la consideración de los Datos aportados permitió establecer criterios para identificar los modelos (objetivo O1) y sus características novedosas en relación con las consideradas en la literatura (O2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las producciones analizadas llevó a identificar cuatro categorías de modelos (Tabla 1 debajo). La primera contiene los modelos de Reticula, que se fundamentan en la descomposición del

recuadro de la imagen en una cuadrícula (Figura 2, arriba) y el cálculo del área real que representa el cuadrado unidad. De esta manera, el conteo de los cuadrados que contienen a personas permite calcular el área de la zona ocupada por la gente. Así, la estimación se obtiene multiplicando este área por el número de personas que caben en 1 m^2 (P/m^2 , en adelante). Esta categoría contiene seis modelos que estiman $8 P/\text{m}^2$ usando un dato recogido de la web, mientras los demás utilizan $4 P/\text{m}^2$ argumentando que se promedian los cuadrados más llenos de personas con los que están menos.

Figura 2. Dibujos de producciones que desarrollan modelos de Reticula (arriba) y de Descomposición (abajo). Fuente: Elaboración propia



Los modelos de Reticula son comparables con la estrategia de Unidad base (Segura, 2022) porque los cálculos en ellos se centran en el cuadrado unidad de la cuadrícula (aunque para trabajar con él se use el dato propio de la estrategia de Densidad).

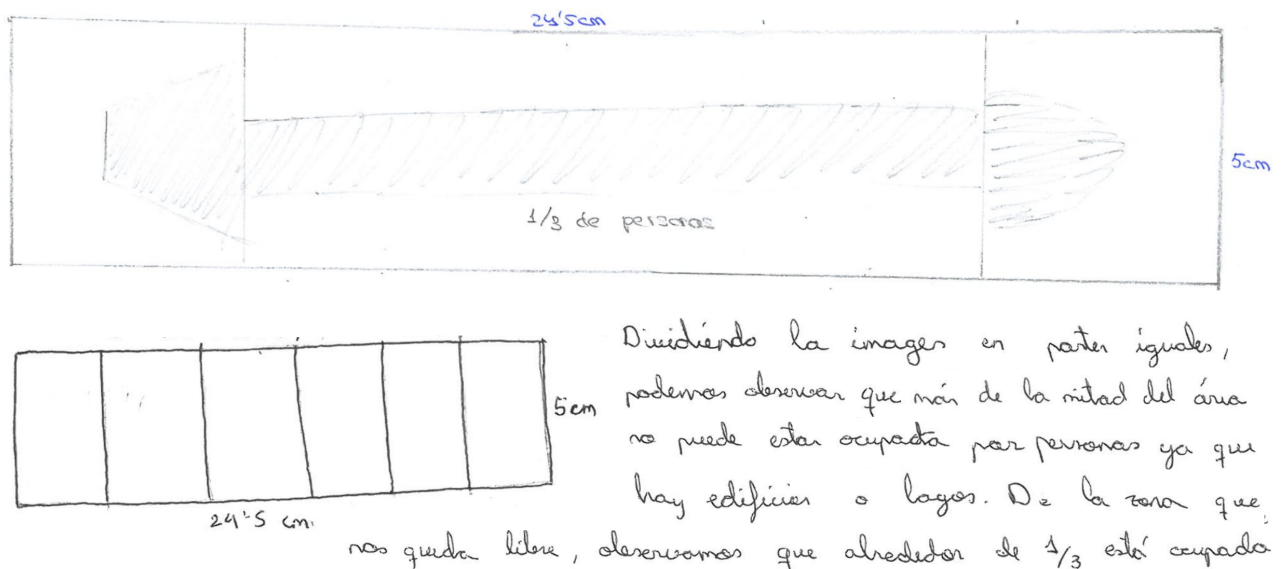
La segunda y tercera categoría de modelos encontradas engloban los modelos de descomposición, que parten de la zona ocupada por personas y la descomponen en figuras cuya área es calculable utilizando fórmulas escolares (Figura 2, abajo). Aunque comparten el mismo planteamiento, la estrategia de cálculo que emplean estos dos modelos difiere en el tratamiento que hacen de la distribución irregular de las personas en la imagen. Los modelos de Descomposición en figuras igualmente ocupadas (se encontraron en 9 ocasiones) calculan la estimación sin más que sumar el área de las figuras para alcanzar el área de la zona ocupada por personas, y multiplicar este dato por el número de P/m^2 . Por su parte, en los modelos de Descomposición en figuras desigualmente ocupadas (observados en dos producciones) se utiliza un valor para P/m^2 para algunas de las figuras y otro valor en otras figuras, en función del nivel de ocupación que presentan en el dibujo. Los modelos de estas dos categorías están relacionados con la estrategia de densidad de Segura (2022), debido a que el valor que utilizan para estimar las P/m^2 es el punto de partida de estas dos categorías de modelos.

La cuarta categoría identificada incluye los modelos de Ocupación parcial, que se han encontrado en 4 producciones (Figura 3). En ellas, los estudiantes partieron del rectángulo que enmarca la imagen dada y ofrecieron una estimación de la razón de ocupación del rectángulo, es decir, la fracción del rectángulo que estiman que está ocupada por gente en el dibujo. En la Figura 3 (arriba) se ilustra un caso en el que esta razón de ocupación se ha obtenido agrupando las zonas ocupadas por personas, mientras que en la Figura 3 (abajo) se muestra una estimación verbal.

En estos modelos, la estimación se obtiene multiplicando el número de P/m^2 por el área en m^2 del rectángulo y por esta razón de ocupación estimada. En relación a las categorías discutidas por Segura (2022), estos modelos se pueden considerar también vinculados a la estrategia de Densidad, ya que

no solo utilizan el número de P/m² sino que además usan la razón de ocupación que expresa también noción de densidad.

Figura 3. Dibujos de modelos de Ocupación parcial. Fuente: Elaboración propia



La Tabla 1 proporciona una síntesis cuantitativa de los resultados del estudio y su relación con las estrategias empleadas por futuros maestros de primaria. En ella se muestra que no se han observado modelos asociados a las estrategias de Recuento exhaustivo y de Linealización, y que 11 de los modelos están vinculados a la estrategia de unidad base. La densidad, aunque está presente de alguna forma en todos los modelos, se ha vinculado directamente a 15 de los que se han analizado. En relación al tratamiento dado a la irregularidad de la distribución de las personas en la imagen, el total de los modelos encontrados se han restringido a la zona ocupada por personas, pero solo diez de ellos han dado un tratamiento matemático específico.

Tabla 1. Estrategias empleadas en relación con las descritas por Segura (2022). Fuente: Elaboración propia

Estrategia (Segura, 2022)	Modelo (frecuencia)	Irregulares
Unidad base	Réticula (11)	4
Densidad	Descomposición en figuras igualmente ocupadas (9)	0
Densidad	Descomposición en figuras desigualmente ocupadas (2)	2
Densidad	Modelos de ocupación parcial (4)	4
Total	26	10

Nota: La columna "Irregulares" indica la frecuencia de los modelos que hacen referencia explícita a la distribución irregular de las personas en la imagen.

Finalmente, debe comentarse que la observación y descripción de estos modelos pone de manifiesto la importancia del contexto educativo en el que se enmarca la propuesta, principalmente en relación con el sentido de la medida de los futuros maestros. Los modelos de retícula observados son similares a tareas de cálculo de áreas trabajadas previamente con los estudiantes. De igual manera se constataron, dentro de las categorías de descomposición, estrategias de cálculos de área de la zona ocupada por personas que estaban basadas en restar el área de ciertas zonas a la del rectángulo que enmarca la imagen inicial. Finalmente, debe señalarse que la introducción de la imagen como parte de la tarea involucró el uso de escalas, cuestión que generó dificultades al alumnado, sobre todo a la hora de hacer cambios entre unidades de área. Estos resultados están alineados con la importancia que asignaron Sevinc y Ferrando (2022) a las imágenes sobre la actividad de modelización, aunque han podido sesgar las estrategias empleadas por estudiantes.

CONCLUSIÓN

Esta comunicación presenta una primera aproximación a los modelos que surgen al resolver una tarea de estimación de grandes cantidades en las que los objetos a contabilizar se distribuyen de manera irregular sobre una superficie. Con este estudio se proporcionan unas ideas preliminares sobre los modelos que se pueden esperar ante tareas de estas características y su conexión con otros problemas de Fermi mejor estudiados en la literatura. Estas ideas preliminares se han establecido a partir del análisis de los modelos, que engloban información más rica que las estrategias de estimación empleadas.

En respuesta a la pregunta de investigación, los resultados del estudio indican que los modelos producidos por los estudiantes para maestros al abordar este tipo de tareas no recurren al recuento exhaustivo en ningún caso, ni buscan estrategias de linealización. Por el contrario, todos los modelos encontrados en el estudio se apoyan en el número de personas que ocupan un metro cuadrado, por lo que se puede afirmar que este tipo de tareas fomentan las estrategias de Densidad, cuestión que se constata en virtud de la Tabla 1 arriba y de la descripción de los modelos. El tratamiento matemático del carácter irregular de la distribución de las personas en la imagen ha sido explícito en aproximadamente la mitad de los casos. En este sentido, es especialmente interesante la aparición de los modelos de ocupación parcial, que enriquece los resultados en lo que a la actividad de modelización se refiere, pero quizá incurran en una sobresimplificación.

El estudio desarrollado presenta limitaciones que deben señalarse en este punto. Más allá del carácter exploratorio del mismo, que impide generalizar los resultados, debe señalarse la fuerte conexión con el sentido de la medida que presenta la tarea y que debe calibrarse en futuras investigaciones. En primer lugar, los estudiantes se han visto obligados a calcular áreas de zonas irregulares, cuestión que ha podido limitar los modelos encontrados aunque no era el foco de la investigación. En segundo lugar, la introducción de la imagen real ha introducido el trabajo con la escala. Esto ha producido riqueza de ideas, pero también ha generado dificultades en el alumnado, sobre todo en lo que respecta a la relación cm^2 (dibujo) m^2 (real). Estas dificultades posiblemente hayan condicionado los resultados de esta investigación, y deberán ser objeto de análisis en el futuro. De igual manera, este estudio abre vías de investigación sobre tareas de estimación que serán exploradas en el futuro. En primer lugar, es necesario clarificar y profundizar en las categorías obtenidas, en muestras más amplias y en estudiantes con otro perfil matemático. En segundo lugar, debe analizarse la pertinencia de la tarea empleada para explorar las estrategias de estimación de objetos irregularmente distribuidos. Un estudio similar al desarrollado por Albarracín y Gorgorió (2014), que analizaron comparativamente los planes de resolución de estudiantes de diferentes edades a un conjunto de tareas diferentes pero relacionadas, podría contribuir a contrastar los resultados obtenidos en esta comunicación, y se emplaza para un futuro próximo.

Referencias

- Albarracín, L. y Gorgorió, N. (2014). Devising a plan to solve Fermi problems involving large numbers. *Educational Studies in Mathematics*, 86(1), 79-96. <https://doi.org/10.1007/s10649-013-9528-9>
- Ärlebäck, J. B. (2009). On the use of realistic Fermi problems for introducing mathematical modelling in school. *The Montana Mathematics Enthusiast*, 6(3), 331-364. <https://doi.org/10.54870/1551-3440.1157>
- Ärlebäck, J. B. y Albarracín, L. (2019). The use and potential of Fermi problems in the STEM disciplines to support the development of twenty-first century competencies. *ZDM, Mathematics Education*, 51(6), 979-990. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01075-3>
- Barquero, B. (24-27 de septiembre de 2022). *Moving Beyond Mute Modelling Praxeologies: an Study and Research Path for Teacher Education About the Cake Box* [Comunicación larga]. 20th International Conference on the Teaching of Mathematical Modelling and Applications (ICTMA20), Wurzburg, Alemania.

- De Castro, C., Castro, E. y Segovia, I. (2004). Errores en el ajuste del valor posicional en tareas de estimación: Estudio con maestros en formación. En E. Castro y E. De la Torre (Eds.) *Actas del VIII Simposio de la SEIEM* (pp. 183-194). Universidad da Coruña.
- Doerr, H. (2007). What Knowledge do teachers need for teaching mathematics through applications and modelling?. En W. Blum, P.L., Galbraith, HW., Henn, y M. Niss (Eds.), *Modelling and applications in mathematics education. The 14 th ICMI Study* (pp. 69-78). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1_5
- Fernández-Ahumada, E. y Montejó-Gámez, J. (2019). Dificultades en el aprendizaje matemático del profesorado en formación: análisis de las premisas utilizadas al modelizar. En J. M. Marbán, M. Arce, A. Maroto, J. M. Muñoz-Escolano, y Á. Alsina (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXIII* (pp. 273-282). Valladolid: SEIEM.
- Fernández-Plaza, J. A. (2016). Análisis del contenido. En L. Rico y A. J. Moreno (Coords.), *Elementos de didáctica de la matemática para el profesor de Secundaria* (pp. 103-118). Pirámide.
- Ferrando, I. (2019). Avances en las investigaciones en España sobre el uso de la modelización en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. En J. M. Marbán, M. Arce, A. Maroto, J. M. Muñoz-Escolano, y Á. Alsina (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXIII* (pp. 43-64). SEIEM.
- Ferrando, I. y Albarracín, L. (2021). Students from grade 2 to grade 10 solving a Fermi problem: analysis of emerging models. *Mathematics Education Research Journal*, 33, 61-78. <https://doi.org/10.1007/s13394-019-00292-z>
- Ferrando, I., Albarracín, L., Gallart, C., García-Raffi, L. M., y Gorgorió, N. (2017). Análisis de los modelos matemáticos producidos durante la resolución de problemas de Fermi. *Boletim de Educação Matemática*, 31, 220-242. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v31n57a11>
- Kaiser, G., Blomhøj, M. y Sriraman, B. (2006). Towards a didactical theory for mathematical modelling. *ZDM*, 38(2), 82-85. <https://doi.org/10.1007/BF02655882>
- Kämmerer, M. (10-14 de julio de 2023). *Students' use of assumptions to solve a modelling task with much or little personal interest in the real-world context of the task* [Comunicación]. 13th Congress of the European society for Research in Mathematics Education (CERME13). Budapest, Hungría.
- Montejo-Gámez, J., Fernández-Ahumada, E. y Adamuz-Povedano, N. (2021). A Tool for the Analysis and Characterization of School Mathematical Models, *Mathematics*, 9(13), 1569. <https://doi.org/10.3390/math9131569>
- Segovia, I., Castro, E., Castro, E. y Rico, L. (1989). *Estimación en cálculo y medida*. Síntesis.
- Segovia, I. y Castro, E. (2009). La estimación en el cálculo y en la medida: fundamentación curricular e investigaciones desarrolladas en el Departamento de Didáctica de la Matemática de la Universidad de Granada, *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 17(7), 499-536.
- Segura, C. (2022). *Flexibilidad y rendimiento en la resolución de problemas de estimación en contexto real. Un estudio con futuros maestros* [Tesis doctoral, Universidad de Valencia]. <https://roderic.uv.es/handle/10550/81850>
- Sevinc, S. y Ferrando, I. (24-27 de septiembre de 2022). *The Role of Representational Images in Fermi Problems: A Study on Prospective Teachers' Mathematical Modeling* [Comunicación corta]. 20th International Conference on the Teaching of Mathematical Modelling and Applications (ICTMA20), Wurzburg, Alemania.
- Stillman, G. A., Blum, W. y Biembengut, M. S. (2015). Cultural, Social, Cognitive and Research Influences on Mathematical Modelling Education, in G. A. Stillman et al. (eds.), *Mathematical Modelling in Education Research and Practice, International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling* (pp. 1-32). Springer International Publishing Switzerland.