

Formación de representaciones intuitivas acerca del sonido en niños de preescolar¹

Construction of intuitive representations about sound in preschool children

DOI: 10.4438/1988-592X-RE-2017-381-379

Claudia-Elena Velázquez-Olmedo

Leticia Gallegos-Cázares

Elena Calderón-Canales

Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo conocer las representaciones intuitivas que tienen los niños de nivel preescolar acerca del sonido. El estudio se fundamenta en la teoría representacional, la cual estudia la construcción de conocimiento científico mediante el desarrollo de representaciones mentales, entendiendo por representación toda construcción, mediada cognitivamente por el sujeto, que le permite dar cuenta de un fenómeno o situación, y la teoría de la cognición corporal (embodiment), la cual hace referencia al papel del cuerpo en la construcción y explicitación de estas representaciones. Se realizó un estudio de casos constituido por seis niños de 3er grado de preescolar, los datos se obtuvieron mediante la aplicación individual de una entrevista semiestructurada basada en los temas: producción, percepción y propagación del sonido, que implicó el uso de material gráfico e instrumental lo que permitió contextualizar y delimitar las entrevistas, registradas en audio y video. Se realizaron paralelamente dos análisis diferentes, en el primero se construyeron categorías de análisis a partir de las respuestas verbales de los niños, en el segundo se identificaron y categorizan los gestos utilizados por los niños para explicar sus respuestas o en algunos casos siendo el gesto la propia respuesta. Los resultados revelan que los

⁽¹⁾ Esta investigación se llevó a cabo con el apoyo de la Secretaría de Educación Pública y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -México-(Ref. n° 240419. SEP-CONACyT). Agradecimientos a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT).

niños tienen una representación sustancialista del sonido, es decir, consideran que el sonido tiene propiedades similares a las de los objetos (masa y trayectoria definida), basada en una intuición materialista acerca del sonido, que responde a experiencias fenomenológicas guiadas esencialmente por la percepción. Finalmente intuyen que existe una relación entre las vibraciones y el sonido pero no son capaces de hacer explícito de qué tipo de relación se trata.

Palabras clave: Educación de la primera infancia, Enseñanza de las ciencias, Cognición, Representación mental.

Abstract

The present research aimed to know the intuitive representations that preschool children built about sound. The study is based on representational theory, which studies the construction of scientific knowledge through the development of mental representations, understanding by representation all construction, cognitively mediated by the subject, which allows him to account for a phenomenon or situation, and the theory of corporal cognition (embodiment), which refers to the role of the body in the construction and explanation of these representations. A case study was carried out consisting of six children of 3rd grade of preschool. The data were obtained through the individual application of a semi-structured interview based on the themes: production, perception and propagation of sound, which involved the use of graphic and material which allowed contextualizing and delimiting the interview. All the interviews were recorded in audio and video. Two different analyses were carried out in parallel, in the first, analysis categories were constructed from the verbal responses of the children. In the second analysis, the gestures used by the children to explain their answers were identified and categorized, or in some cases the gesture itself was the response. The results reveal that children have a substantialist representation of sound, that is, they consider that sound has similar properties to those objects (mass and defined trajectory), based on a materialistic intuition about sound, which responds to experiences phenomenologically guided by perception. Some children finally infer that there is a relationship between vibrations and sound but they are not able to make explicit what kind of relationship it is.

Keywords: Preschool education, Science education, mental representations.

Introducción

El estudio de la formación representacional como construcción de conocimiento ha sido estudiado por diversos autores (Cook, 2006; Mazens y Lautrey, 2003; Osborne y Freyberg, 1998; Postigo y López-

Manjón, 2012; Pozo y Gómez-Crespo, 1998). Si bien todo conocimiento es una construcción representacional, partimos del supuesto de que algunas de estas representaciones influyen en la formación de otro tipo de representaciones durante la alfabetización científica.

En el presente trabajo utilizamos el concepto de *representaciones intuitivas* para referirnos al conjunto de ideas que poseen las personas para interpretar los fenómenos naturales y que pueden o no, estar en contradicción con lo establecido en las teorías, principios y leyes del conocimiento científico. Consideramos que las representaciones son el fruto de la percepción y estructura cognitiva del sujeto y están basadas en sus experiencias cotidianas, tanto físicas como sociales, que dan como resultado un conocimiento empírico de la ciencia (Moreira y Greca, 2005; Pozo y Gómez-Crespo, 1998).

Es así que, sin importar el nivel escolar, todos los estudiantes llegan al salón de clases con representaciones intuitivas que en muchas ocasiones son fuertes y persistentes. Por ende, estudiar cómo se forman las representaciones intuitivas es una tarea importante, pues las representaciones del mundo determinan lo que las personas hacen y pueden hacer.

En el presente trabajo se analizarán las representaciones intuitivas de niños de nivel preescolar con respecto al sonido. En el siguiente apartado se presenta una descripción sobre las representaciones, una revisión de trabajos previos relacionados con el tema, así como el marco interpretativo de la presente investigación, y finalmente se presentarán los resultados obtenidos a partir del estudio realizado y las conclusiones del trabajo.

¿Cómo desarrollan los niños su conocimiento del mundo?

Comprender el proceso de aprendizaje de las personas es un tema que ha preocupado a diversas áreas de investigación, desde las neurociencias hasta las artes y humanidades a partir de las cuales se han desarrollado diversos enfoques para explicar este proceso. Si bien, el estudio del aprendizaje de las ciencias en estudiantes tiene una larga tradición, hasta hace pocos años se comenzaron a realizar investigaciones que dan cuenta de la problemática en el aprendizaje de las ciencias en niños en edad preescolar.

Los niños, para dar cuenta de cómo funciona el mundo, establecen relaciones entre las cosas y los hechos, estas relaciones les ayudan a explicarse los fenómenos naturales, las relaciones físicas entre los objetos, el papel de los otros y de ellos mismos. A este conjunto articulado de relaciones se le ha llamado *representaciones*. Estas representaciones nos permiten, a todos, explicar lo que sucede y dar sentido a los fenómenos, así como anticipar lo que va a suceder (Chi y Roscoe, 2002; Duschl y Grandy 2008; Nersessian, 1999; Tytler y Prain, 2010). Por ejemplo, una representación viso-espacial, permite situar lo que sucede en un lugar y establecer relaciones de dependencia entre acontecimientos, pero es la representación “temporal” la que da sentido a la causalidad. Disponer de una representación “adecuada”, es decir, que brinde la posibilidad de “experimentar” de forma más eficaz (no necesariamente con objetos) abre a los individuos más posibilidades de representación del mundo. Sin embargo, tener una representación del mundo no es suficiente, necesitamos hacerla explícita a nosotros mismos y a los otros de modo que genere nuevos significados para los individuos.

Además de la función explicativa, las representaciones tratan de satisfacer otras necesidades del sujeto, no necesariamente de tipo cognitivo, sino que contienen aspectos ideológicos, motivacionales o afectivos. Tampoco están completamente articuladas y disponibles en cualquier instante. Es decir, en el momento en que se demanda, el sujeto, combina distintos elementos de los que dispone para responder a la nueva demanda de representación. Los elementos de construcción están disponibles siempre, pero la articulación dentro de la estructura que le da sentido sólo se presenta para responder a una necesidad en un momento determinado (Tytler y Prain, 2010). La demanda puede ser para resolver un problema práctico o para explicar un fenómeno que acontece.

La función explicativa de las representaciones se manifiesta cada vez que el sujeto tiene que resolver un problema por lo que las representaciones están ligadas a los fines que se plantea el sujeto, es importante mencionar que esas representaciones que cada uno tiene que formar para desenvolverse en el mundo son anteriores al conocimiento científico y existían antes de que surgiera la ciencia (Delval, 2007).

Cabe señalar que uno de los problemas del estudio de las representaciones, es que no puede llegarse a ellas directamente, sino sólo de una forma indirecta, infiriéndolas a partir de lo que hacen o dicen los sujetos sobre los objetos o fenómenos (Driver, 1989; Nersessian,

1999; Tytler y Prain, 2010). Es por ello que el lenguaje y la capacidad de utilizar sistemas abstractos de representación aumentan enormemente las posibilidades de explicitación, pero estos sistemas abstractos sólo son el vehículo mediante el cual se hacen manifiestas esas representaciones.

El papel del cuerpo en la construcción representacional

Diferentes autores han utilizado el concepto “cognición corporal” *embodiment* (Pozo, 2003) como marco interpretativo para conocer y explicar las representaciones que tienen las personas acerca de algún concepto científico y/o físico (Alibali y Nathan, 2012; Calvo y Gomila, 2008; Edwards, 2009; Gibbs, 2005; Hostetter y Alibali, 2008;). Este concepto puede analizarse desde el desarrollo de la psicología de Jean Piaget, al afirmar que las capacidades cognitivas tienen un fundamento en las habilidades sensoriomotoras (Wilson, 2002), por lo que, considera que los procesos cognitivos están fuertemente arraigados a las interacciones sensorio-motoras del cuerpo y con el mundo.

Ahora bien, ¿qué función o funciones desempeña el cuerpo en el proceso cognitivo? Según Clark y Chalmers (1998), y Wilson (2002) existen al menos dos funciones distintas pero relacionadas entre sí para comprender el papel del cuerpo en el proceso cognitivo.

La primera sugiere que el cuerpo puede funcionar como una *limitante cognitiva*: en este sentido, hablar o pensar acerca de los objetos, ya sean concretos o abstractos, implica la apelación, el despliegue o la reactivación de patrones específicos de la actividad corporal (el cuerpo da forma a la naturaleza de la actividad cognitiva y el contenido de las representaciones procesadas). Ejemplo de ello son; a) *la percepción del color*, los conceptos y experiencias de los colores, se deben a las propiedades de las células de la retina y las características del aparato visual, por lo que solo vemos el espectro de la luz visible, b) *la detección del sonido*, que debe su peculiaridad a la distancia entre los oídos, y c) *la metáfora espacial*, que es la forma en que conceptualizamos el cuerpo, a partir de las experiencias “encarnadas”, por ejemplo, la metáfora conceptual *el tiempo es un objeto movable* expresa una acción y el “lunes viene antes del martes”, hace referencia al movimiento a través del tiempo “lo que viene por delante”, “el día que quedó atrás”, entre otras (Thompson et al., 1992).

La segunda función destaca las diferentes formas en que el cuerpo actúa como un *distribuidor para el procesamiento cognitivo*, operando como un sistema de interpretación parcial de la cognición. Esto es, forma parte del proceso cognitivo, el cuerpo se “extiende” en tareas cognitivas dentro de estructuras que no se limitan al sistema nervioso central (no neuronales), funcionando como realizador parcial de procesos mentales. Algunos ejemplos de procesos no neurales son principalmente el gesto y las posturas, que se ven reflejados en estudios acerca de operaciones cognitivas, la producción del lenguaje, la plasticidad cortical y la adquisición de la habilidad motora de la mano (Rowe y Goldin-Meadow, 2009; Rowe et al., 2008).

Asimismo, otras investigaciones sugieren que el aumento del volumen de las representaciones de movimientos es modelada por las experiencias encarnadas, y que los cambios inducidos por el cuerpo ayudan a regular mejor el cerebro, con el procesamiento de la información y desarrollo cognitivo (Hlustik et al., 2004). Lo que sugiere que el cuerpo tiene un papel importante en la formación representacional.

Es así que la actividad meramente corporal, específicamente los gestos, se han considerado una forma de comunicación, para algunos autores los movimientos de hecho juegan un papel cognitivo en el desarrollo del vocabulario y el lenguaje (Rowe y Goldin-Meadow, 2009; Rowe et al., 2008). Además de considerar su trascendencia en la comprensión del significado y la formación de las representaciones.

Uno de los trabajos más citados en relación con la función del gesto en el proceso de formación de representaciones realizado por Corballis (2003), quien menciona que en este proceso participan un tipo de neuronas que transmiten la información referente a las acciones de los otros, llamadas *neuronas espejo*. Se trata de un sistema de representación análogo e icónico en su origen, subyacente a la capacidad de señalar, imitar y dirigir la vista con intención comunicativa. Por lo que la función de estas neuronas es la comunicación no verbal (señalar, mostrar, demostrar, expresar emoción, entre otras), relacionadas con la pantomima y la capacidad de imitar lo que otros hacen (mímica).

De acuerdo con McNeill (1992, 1998, 2008) es posible estudiar cuatro dimensiones del gesto: a) gesto deíctico (pointing); son los gestos para indicar objetos o localizaciones en el ambiente físico (señalar), b) gesto icónico (iconic); son los gestos que mantienen una relación perceptual de similitud entre su forma y el contenido semántico de la representación (el

modo de realización del gesto encarna aspectos retratables del contenido semántico), c) gesto metafórico; el contenido semántico se da a través de la metáfora (ej. juntar las manos como “sosteniendo” la idea, la cual sería la metáfora de la idea como objeto), y d) gesto rítmico (beat gesture); son movimientos motores y/o gestos rítmicos que no poseen contenido semántico, pero que están contenidos en la prosodia del contenido semántico. Siguiendo la lógica del trabajo de Corballis (2003) y McNeill, los gestos mímicos son altamente icónicos, debido a que constituyen un principio básico de la intención comunicativa.

Las representaciones intuitivas y la alfabetización científica

Las representaciones intuitivas son construcciones personales con las que llegan los estudiantes a sus clases de ciencias, independientemente de su edad, género, cultura o nivel educativo. Muchas de estas representaciones se han formado a partir de la experiencia de los individuos con los fenómenos cotidianos y guiadas por la percepción. No son fáciles de identificar porque son parte del conocimiento implícito del sujeto, además de ser muy resistentes por lo que a menudo se convierten en fuertes barreras a la comprensión de los conceptos científicos y consecuentemente son difíciles de modificar, por lo que no se alteran por medio de la enseñanza tradicional de la ciencia. Estas representaciones no son exclusivas de los estudiantes, muchos profesores comparten las representaciones intuitivas que tienen sus alumnos, aunque no sean conscientes de ello (Carretero et al., 1996; Driver, 1989; Driver y Erickson, 1983; Pozo y Carretero, 1992; Wandersee et al., 1994).

Con respecto a la resistencia a la modificación de las representaciones intuitivas, son dos las principales explicaciones. Una de ellas supone que aquellas representaciones que están estrechamente ligadas a situaciones de la vida cotidiana y tienen un grado de coherencia y solidez variable en donde son adecuadas, son más difíciles de modificar (Pozo y Carretero, 1992). La otra es la falta de conocimiento previo, si uno no dispone de cierto nivel de conocimiento, difícilmente puede entender los argumentos presentados para conducir el cambio de esas representaciones (Strike y Posner, 1985; Chinn y Brewer, 1993; Schumacher et al., 1993).

Representaciones intuitivas acerca del sonido

Las investigaciones que han estudiado las representaciones intuitivas relacionadas con el concepto de sonido son escasas, probablemente la razón sea que la idea de la transmisión del sonido puede ser un concepto difícil de entender.

Algunos estudios sugieren que, si bien los niños consideran al sonido como un objeto, no le otorgan todos los criterios de una entidad física. Mazens y Lautrey (2003) entrevistaron a un grupo de 89 alumnos de 6 a 10 años de edad, quienes respondieron a una serie de preguntas para determinar si confieren al sonido propiedades físicas como: sustancialidad (tiene características de sustancia), trayectoria (sigue una trayectoria lineal entre dos puntos), permanencia (viajara desde su origen en una trayectoria longitudinal infinita de tiempo) y/o peso (se ve afectada por la gravedad). Estos autores encontraron que el 46% de los niños que entrevistaron consideran que “el sonido se fue a través de agujeros” de los objetos, el 33% cree que el sonido viaja directamente a la oreja o rebota en las superficies antes de que llegue al oído de una persona, el 20% cree que el sonido “continúa para siempre” (una característica infinita de tiempo) y el 14% pensaba que el sonido tenía peso. Este estudio mostró que cuando los niños perciben el sonido como un objeto atribuyen la característica de sustancialidad más a menudo que el peso o la permanencia.

Un año después Lautrey y Mazens, (2004) analizaron la organización de las representaciones intuitivas acerca del concepto de “sonido” y las compararon con el concepto de “calor”, además de investigar el proceso de cambio conceptual que ocurre en dichas representaciones. Para ello, entrevistaron individualmente a 83 niños y niñas (aprox. 50% por género) de 8 años de edad para ver si atribuían al sonido las propiedades de los objetos (como sustancialidad, peso, permanencia y trayectoria) o las propiedades de los procesos físicos (por ejemplo, la transmisión de proximidad). Estas dos categorías darían cuenta del cambio conceptual. Sus resultados indicaron que los niños le atribuyen propiedades de objeto al sonido de manera jerárquica. Es decir, en el nivel básico (primer nivel jerárquico) le atribuyen la cualidad de permanencia, en el siguiente nivel la cualidad del peso, y, finalmente, en el tercer nivel, se le atribuye la cualidad de sustancia, es decir, el sonido se asume como un tipo de materia, lo que implicaría que no puede pasar a través de los sólidos.

Sus resultados también muestran que estas representaciones intuitivas parecen estar relativamente organizadas y el cambio conceptual es un proceso de largo plazo. Para Whittaker (2012) la física es un tema donde los alumnos tienen un gran número de representaciones intuitivas que no son compatibles con el conocimiento científico además de estar profundamente asentadas. Para este autor, el sonido es un buen ejemplo de esto, ya que requiere de la visualización de una forma de energía que se transmite a través de un medio invisible de forma invisible. Para identificar las representaciones intuitivas de los estudiantes en cuanto a la naturaleza del sonido y su transmisión, realizaron entrevistas individuales a 28 alumnos de 11 a 14 años. Algunas de las preguntas empleadas en la entrevista fueron las siguientes: 1. Su profesor está hablando en clase, ¿cómo puedes oírlo?, 2. El profesor está hablando en voz alta en el aula de al lado, ¿cómo puedes oírlo?, 3. Si sales del salón y gritas, ¿hasta dónde iría el sonido?, 4. ¿Podrías escuchar a alguien hablando junto a ti si estuvieran en el espacio? Del mismo modo que en los estudios descritos previamente (Lautrey y Mazens, 2003; Mazens y Lautrey, 2004), Whittaker concluye que las representaciones de los niños sobre el sonido se basan en la intuición sustancialista. Es decir, los alumnos le atribuyen al sonido propiedades de objeto como: trayectoria, pueden traspasar objetos y se desplaza.

Debido a que son pocos los estudios que se han ocupado de las representaciones intuitivas de los estudiantes acerca del sonido, Eshach y Schwartz (2006) apoyados con el “esquema de sustancia” nombrado y diseñado por Reiner, et al. (2000) se plantearon identificar si dicho esquema está presente en el pensamiento de los estudiantes de secundaria y examinar cómo los estudiantes utilizan las características del esquema para explicar el sonido. Además, averiguar si las características del esquema de sustancia se utilizan con cierta coherencia “local” es decir, de manera individual o si se pueden identificar consistencias más coherentes a nivel “general” entre las propiedades que los estudiantes utilizan para explicar los fenómenos sonoros. Para ello realizaron entrevistas a profundidad con preguntas abiertas y estandarizadas a diez estudiantes de secundaria. Los resultados muestran que, partir del esquema de la sustancia, el sonido fue percibido por los participantes como “algo” que se puede empujar, friccionar o controlar. Además, como una sustancia diferente a la normal con respecto a su estabilidad, naturaleza corpuscular, propiedades aditivas y características inerciales.

En otras palabras, las representaciones del sonido de los estudiantes no parecen encajar con el esquema de Reiner, et al. (2000) en todos los aspectos. Los resultados también indican que la representación de sonido de los estudiantes carece de coherencia interna, ya que conforme se les cuestionaba acerca del alcance explicativo de sus respuestas, éstas ya no eran consistentes. Con respecto a la coherencia local y general, los autores reportan que la concepción del sonido de los estudiantes coincide con la propuesta de diSessa (2002) quien considera que dichas representaciones están conectadas vagamente, como una colección fragmentada de las representaciones. Eshach y Schwartz (2006) concluyen que la noción de que el sonido se percibe sólo como “una especie de material” (cualidades de sustancia). Además de mencionar que se requiere de más investigación que ayude a entender la pertinencia del “esquema de la sustancia” de Reiner et. al (2000) que se aplica en dicha investigación.

Por último, Perales (1997) realizó un trabajo con base en las concepciones sobre la acústica en alumnos de distintos niveles educativos, partiendo de un análisis del contenido científico a tres bandas: estructural, didáctico y sociológico. Este autor concluye que, de forma análoga a como ocurre con la luz, el sonido es identificado por su causa (emisión) y por sus efectos (detección), aunque también se hace como una entidad en el espacio (propagación), por lo que representa un avance con relación a lo que ocurre con la luz. En este sentido, la evolución por edad o nivel educativo es evidente: el sonido pasa de ser un «ruido» a una propagación de ondas en el espacio material.

Perales (1997) considera que esto supone en sí mismo un avance cualitativo importante en la comprensión de los estudiantes, dado que muestra indicios de atribuir la propagación del sonido al conjunto de las partículas del medio, aunque la naturaleza de las ondas dista mucho de ser comprendida por ellos. Finalmente, sugiere que esta evolución se manifiesta en cuanto a la riqueza semántica del término *sonido* que, de ser considerado mayoritariamente como ruido por los alumnos más jóvenes, se convierte en un glosario de adjetivos relativos a sus cualidades en los de mayor edad. Asimismo, es de destacar la significativa presencia de la «música» como descriptor del sonido en los individuos de menor edad.

Los estudios descritos brindan un panorama general del tipo de representaciones que elaboran los estudiantes acerca del fenómeno del sonido. En general, resulta evidente que existe poca investigación sobre las representaciones intuitivas sobre el sonido y no hay estudios reportados con población en edad preescolar.

Tomando como base la idea de que los individuos construyen representaciones intuitivas sobre los fenómenos que observan y que el uso de los gestos (cognición corporal) son parte de esas representaciones, el objetivo de la presente investigación radica en identificar las *representaciones intuitivas* de los niños sobre el sonido y su relación con la formación del conocimiento científico en preescolar. El análisis se hace a partir de un estudio de casos, dado que implica un proceso de indagación sistemático y a profundidad que permite comprender la complejidad del problema de investigación y establecer niveles explicativos del mismo dentro de un proceso o situación dada (Stake, 1998). Además de ser inductivo, ya que las observaciones son detalladas, por lo que permiten estudiar múltiples y variados aspectos, examinarlos en relación con los otros y, al tiempo, verlos dentro de sus ambientes (Pérez Serrano, 1994).

Método

La investigación es de corte cualitativo y corresponde a un estudio de caso.

Muestra

Participaron seis estudiantes de 3° de preescolar en total (2 niñas y 4 niños), que tenían entre 5 y 6 años de edad y pertenecían a dos regiones distintas, dos de los niños de la comunidad de Tesigtan, Puebla y cuatro de la Ciudad de México.

Instrumentos

La recolección de datos se obtuvo mediante la aplicación de una entrevista semiestructurada que abordó tres aspectos del sonido: producción (cómo se puede producir sonido), percepción (cómo se percibe el sonido, quién puede hacerlo, etc.) y propagación (cómo viaja el sonido, hasta dónde puede llegar, etc.). En la tabla I se muestran ejemplos de algunas de las preguntas.

TABLA I. Estructura de la entrevista

Tema	Pregunta
Producción	Observa a tu alrededor, ¿con cuáles cosas puedes hacer sonidos?
Percepción	Observa estas imágenes (perro, ballena, bebé, niño(a), gallina, árbol, piedra, pájaro, mariposa, pez, etc.) ¿quiénes pueden escuchar?, ¿por qué pueden escuchar?, ¿cómo sabes que escuchan? Si tú le hablas a la mariposa, ¿te podrá escuchar?, si tú le hablas al árbol, ¿te podrá escuchar?
Propagación	Se golpea el triángulo. Cuando se deja de escuchar se pregunta por dónde se fue el ruido, qué tan lejos se fue. ¿Qué pasa con ese sonido, se va para siempre, se detiene o regresa?

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el sonido presenta un nivel de abstracción y que es difícil de explicitar para niños tan pequeños, se utilizó material gráfico e instrumental el cual permitió contextualizar y delimitar la entrevista. También este material permitió apoyar el proceso de construcción representacional del niño al utilizarlo para ubicarlos en una situación específica en la cual pudieran producir y percibir el sonido (al tiempo que se realizaron las preguntas) permitiendo a los niños utilizarlo al explicitar sus representaciones. La tabla II describe el material utilizado durante la sesión.

TABLA II. Material utilizado durante la entrevista

Tema	Material
Producción	Fichas de imágenes correspondientes a personas, partes del cuerpo, instrumentos u objetos con los cuales se puede producir sonido. Fichas de imágenes correspondientes a personas u objetos los cuales pueden producir sonido por sí solos (camión, triciclo, perro árbol, ballena, pájaro, lluvia, niña(o), bebé, piedra).
Percepción	Fichas de imágenes correspondientes a personas y animales. Hoja de papel que se coloca frente a la cara del entrevistador, entre él y el niño. Marimba con teclas de tres materiales distintos (hule, madera y metal).
Propagación	Un reloj con alarma, cuatro cajas de: madera, vidrio, cartón y acrílico. Suponiendo que el reloj se coloca en cada caja. Triángulo musical metálico. Teléfono de manguera. Un par de orejeras. Un tambor y una barra metálica suspendida a centímetros del mismo.

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento

Previa autorización por escrito de los padres y autoridades de la escuela, las escuelas proporcionaron el espacio para realizar la entrevista. Las sesiones tuvieron una duración promedio de 30 minutos por cada niño(a), distribuidas en dos aplicaciones por día, las cuales fueron registradas en audio y video.

En principio la secuencia de la entrevista se planeó igual para todos los participantes. Sin embargo, en algunos casos se cambió el orden con la intención de no perder la atención de los entrevistados y comprender su proceso de pensamiento.

Análisis de datos

Una vez transcritas las entrevistas se realizaron paralelamente dos análisis diferentes. En el primer análisis se construyeron categorías de análisis con el fin de organizar los datos e interpretarlos. Esta categorización de las respuestas se realizó a partir de la teoría fundada (Charmaz, 2006) que plantea que la teoría se elabora y surge de los datos analizados. Se analizaron las explicaciones y acciones que realizaron los niños (as), las cuales constituyeron las categorías de respuesta de los sujetos. En la Tabla III se describen los criterios utilizados para definir las categorías, estos criterios se construyen a partir de las ideas que los niños expresaron durante las entrevistas.

TABLA III. Categorías de análisis de la entrevista

Criterio	Categoría
Solo con letras y palabras se puede producir sonido. El sonido lo producen las letras, los demás sonidos son ruido.	1. Palabras- Sonido
Es posible producir sonido si se realiza una acción sobre un objeto concreto. Ej: Tocar, azotar, tallar, soplar, arrastrar, tirar y romper. Los sonidos son diferentes debido a que el material que lo produce es distinto.	2. Objeto- Acción- Material
Producir sonido con el cuerpo y/o percibir sonido con los oídos. Las cosas que tienen vida pueden escuchar. Sin embargo, un árbol no escucha. Por lo que se infiere que las plantas en general son consideradas objetos.	3. Cuerpo-Sonido
	4. Características de tipo sustancialista
El sonido está dentro de los objetos, por lo que es necesario sacarlo de ellos y puede ser atrapado.	4.1 Contención
El sonido puede traspasar el material que es menos duro.	4.2 Traspasa objetos
El sonido sigue un camino definido hasta los objetos u oídos. Se puede detener y continuar la trayectoria al producirse de nuevo.	4.3 Trayectoria
La "intensidad" del sonido depende de la fuerza con que se toque el objeto. Existen sonidos que pesan más que otros. Es decir, los sonidos son diferentes dependiendo del peso.	4.4 Fuerza-Peso

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo análisis se identificaron y categorizaron los gestos utilizados por los niños para explicar sus respuestas o en algunos casos siendo el gesto la propia respuesta, siguiendo la teoría fundada. En la tabla IV se presentan los gestos identificados en la entrevista, así como su descripción.

TABLA IV. Dimensiones utilizadas para el análisis del gesto

Tipo de Gesto	Descripción
Gesto deíctico (pointing)	Señalar con el dedo índice o con toda la mano, acompañado de la respuesta verbal o no.
Gesto icónico (iconic)	Movimientos amplios (generalmente con la mano) que tienen relación con el contenido semántico de las respuestas.
Gesto metafórico	Está relacionado con el contenido semántico de la respuesta
Gesto rítmico (beat gesture)	Movimientos motores y/o gestos rítmicos que no tienen relación con el contenido semántico de la respuesta.

Fuente: Reconstruido a partir de McNeill (1992, 1998 y 2008).

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de las entrevistas. En la primera parte se describen las categorías identificadas en las respuestas de los niños y que corresponden a las presentadas en la Tabla III. Posteriormente se describen los gestos utilizados a lo largo de la entrevista. El análisis se hace para los tres temas abordados: percepción, producción y propagación del sonido.

La tabla V muestra las frecuencias observadas para cada una de las categorías de análisis (Tabla III) por cada uno de los temas en el total de muestra.

TABLA V. Frecuencias de las categorías de análisis presentes en la formación representacional de los niños respecto al sonido de acuerdo al tema

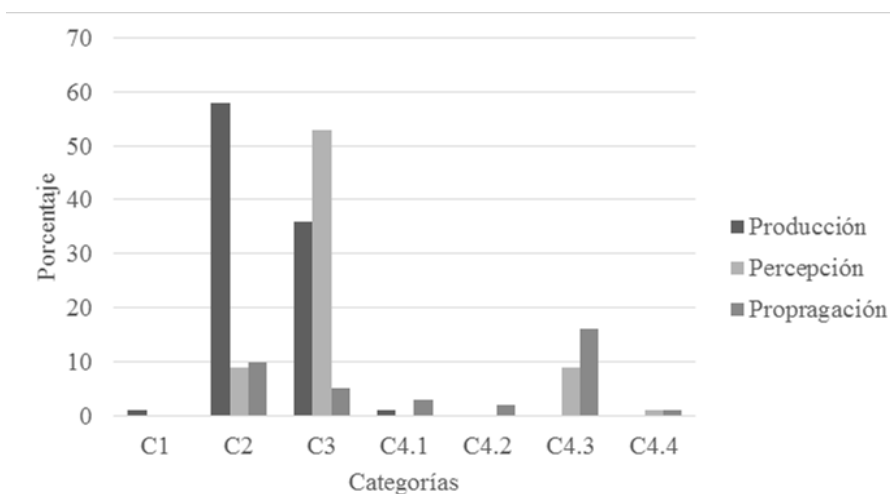
Tema	Categorías						
	C1 <i>f</i>	C2 <i>f</i>	C3 <i>f</i>	C4.1 <i>f</i>	C4.2 <i>f</i>	C4.3 <i>f</i>	C4.4 <i>f</i>
Producción	1	58	36	1	0	0	0
Percepción	0	9	53	0	0	9	1
Propagación	0	10	5	3	2	16	1

Fuente: Elaboración propia.

Nota: C1. Palabras-Sonido, C2. Objeto- Acción-Material, C3 Cuerpo-Sonido, C4.1 Contención, C4.2 Traspasa objetos, C4.3 Trayectoria-Sonido y C4.4 Fuerza-Peso.

En el gráfico I, se observan cuáles y en qué porcentajes (calculados sobre el total de las respuestas de los niños) son utilizadas estas mismas categorías para cada tema.

GRÁFICO I. Porcentaje de categorías del análisis por tema



Fuente: Elaboración propia.

De un total de 205 respuestas categorizadas (gráfica 1), se puede observar que la categoría C1 se presenta únicamente en un caso, probablemente porque el estudiante se encontraba en proceso de aprendizaje de la lecto-escritura y consideró que el sonido únicamente puede hacerse con palabras. Las categorías C2 (37.56%) y C3 (45.08%) presentan el mayor porcentaje de la representación del sonido, las cuales son utilizadas para explicar la producción y la percepción del sonido en todos los casos. La categoría C4 (16.1%), constituida por las categorías C4.1, C4.2, C4.3 y C4.4, está presente en las representaciones de todos los alumnos, y si bien, es utilizada en menor medida está más vinculada con los temas de percepción y propagación del sonido. Es necesario señalar que el caso 2 no dio suficiente información por lo que únicamente utilizó la categoría C2 y C4.3 para explicar la producción y para la propagación. Estas categorías dan cuenta de las respuestas que los niños dieron a todas las preguntas de la entrevista, sin embargo, como se mencionó anteriormente, muchos de ellos emplearon gestos para responder a las preguntas.

El segundo análisis corresponde a la identificación de los gestos que emplearon los niños para responder a las preguntas de la entrevista y que en diversas ocasiones constituyeron la respuesta en sí. En la Tabla

IV se describen las frecuencias de los gestos empleados en cada una de las categorías de análisis y para cada temática abordada. Este análisis muestra que los niños emplearon sólo dos tipos de gesto, el deíctico y el icónico.

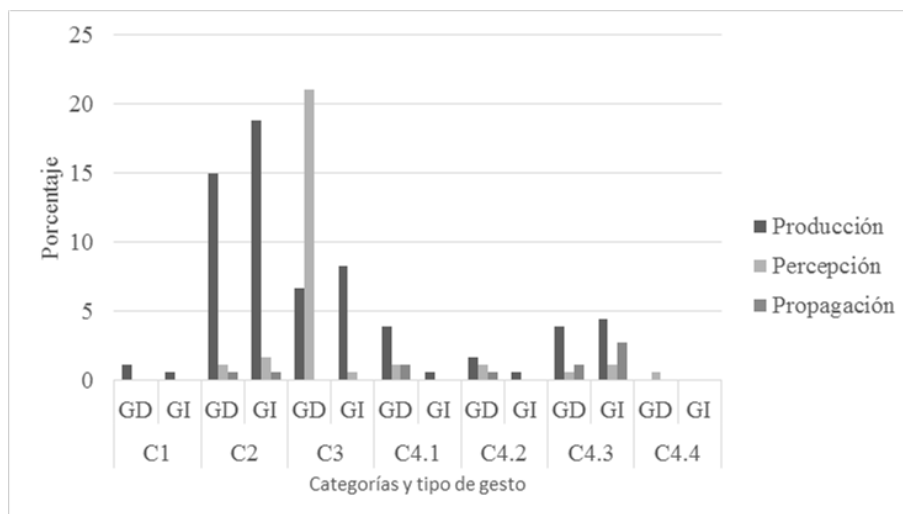
TABLA VI. Frecuencias de los gestos utilizados en las categorías de análisis presentes en la formación representacional de los niños respecto al sonido de acuerdo al tema

Tema	Categorías y tipos de gestos													
	C1		C2		C3		C4.1		C4.2		C4.3		C4.4	
	GD	GI	GD	GI	GD	GI	GD	GI	GD	GI	GD	GI	GD	GI
Producción	2	1	27	34	12	15	7	1	3	1	7	8		
Percepción			2	3	38	1	2		2		1	2	1	
Propagación			1	1			2		1		2	5		

Fuente: Elaboración propia.
 Nota: GD: gesto deíctico; GI: gesto icónico

En la gráfica II se muestran los porcentajes (calculados sobre el total de los gestos registrados de la muestra) y tipo de gestos utilizados por categoría y tema.

GRÁFICO II. Porcentaje de uso de gestos por tema y categoría.



En el gráfico II se observa que, de los 182 gestos analizados, nuevamente las categorías C2 (37.57%) y C3 (36.46%) son las que presentan mayor frecuencia de uso. La categoría C4 en general ocupa el tercer lugar (24.31%) distribuida principalmente entre las sub categorías C4.1, C4.2 y C4.3. Por otro lado, el tipo de gesto más utilizado por los niños es el Deíctico (señalar cosas) (54.7%) seguido por el Icónico, movimientos amplios relacionados con el contenido (39.23%).

También podemos mencionar que en el tema de producción es en el que los gestos se utilizan con más frecuencia (65.19%), en segundo lugar se encuentra el tema de percepción (28.18%) y finalmente el de propagación (6.63%).

Es importante puntualizar que las otras formas de gesto identificadas en la literatura, metafórico y rítmico, no aparecieron en las expresiones de los niños en ninguna de las categorías analizadas, es probable que sea debido a que el gesto metafórico comprende una construcción más abstracta que los gestos deíctico e icónico, es decir que, en lugar de representar objetos o eventos concretos representan conceptos y relaciones. Por lo que, al considerar el sonido con características propias de un objeto, los niños aún no logran utilizar un elemento metafórico para describirlo. Y en el caso del gesto rítmico, a diferencia del gesto icónico, no es comunicativo. Se trata de representaciones que no están ligadas al contenido semántico sino a la producción oral.

El análisis de los datos revela que en todos los casos, los niños tienen una representación basada en las acciones para producir sonido (C2) y la forma en que percibe el sonido (C3), pero que también se encuentra en proceso de construcción una representación de tipo sustancialista del sonido (C4) es decir, que tiene propiedades análogas a las de los objetos (peso y trayectoria definida) presentes de la siguiente manera; las subcategorías C4.2 y C4.3 están presentes en todos los sujetos, la subcategoría C4.1 únicamente aparece en un estudiante y finalmente la subcategoría C4.4 aparece en dos de los estudiantes.

Esta idea de la sustancialización del sonido es semejante a la reportada en otras investigaciones, si bien las características de las muestras analizadas, en especial la edad, son distintas. En cuanto a la característica sustancialista otros estudios sugieren que, si bien los niños consideran el sonido como un objeto, no aplican todos los criterios de una entidad física (Mazens y Lautrey, 2003), lo que puede también observarse en los resultados de este estudio sobre el tipo de respuestas sustancialistas que

aportan los estudiantes. En las respuestas analizadas esta representación está apoyada por elementos centrados en las características de los materiales y las acciones que los estudiantes realizan para producir o percibir el sonido.

En el caso de los gestos, se observó que en general el gesto más utilizado en todos los casos para expresar sus representaciones fue el gesto *deíctico*, principalmente para el tema de producción y percepción disminuyendo su frecuencia para el tema de propagación. Esto se debe a que a nivel jerárquico es la dimensión más básica (McNeill, 1992, 1998, 2008) y puede sustituir la comunicación verbal (señalar, mostrar, demostrar, expresar emoción, entre otras). La categoría C1 la presentó el caso 1, la categoría C2 la presentaron los casos 1, 3, 4, 5 y 6. Para la categoría C4; la subcategoría C4.1 la presentan los casos 1, 3, 4, 5 y 6, la subcategoría C4.2 aparece en los casos 1, 3, 4 y 6, la subcategoría C4.3 está presente en todos los casos mientras que la subcategoría C4.3 se presenta únicamente en el caso 6.

En el caso del gesto *icónico* la frecuencia de uso fue mayor para explicar la producción del sonido correspondiente a las categorías C1 para el caso 1, C2 para todos los casos, C3 en los casos 1, 3, 4, 5 y 6. Además, si bien en todos los casos se presenta la categoría C4, la subcategoría C4.1 se encontró en los casos 1, 3, 4, 5 y 6, la subcategoría C4.2 en los casos 1, 3, 4 y 6, la subcategoría C4.3 estuvo presente en todos los casos y la subcategoría C4.4 únicamente en el caso 6.

Discusión y Conclusión

Durante el desarrollo de las entrevistas se pudo observar en los niños la existencia de una representación del sonido que posee dos características principales. La primera que atribuye al sonido propiedades de “objeto”, que corresponde a las categorías de análisis C2 y C3, presentes en todos los casos analizados, en la cual el sonido no puede pasar a través de sólidos, por lo que puede estar “contenido” dentro de otro sólido, por ejemplo dentro de un recipiente, y para propagarse necesita de una acción específica y un espacio sin obstáculos. La segunda característica es utilizada para explicar observaciones que en un principio contradicen la representación inicial, los niños parecen construir una “representación mental sintética” (Vosniadou, 1994), la cual puede observarse en los

casos 1, 3, 4 y 6, en éstos los estudiantes representan el sonido como una sustancia pero que puede pasar a través de un sólido. Es aquí cuando al sonido se le atribuyen propiedades distintas a los sólidos ya que consideran que puede pasar a través de objetos menos duros y/o menos pesados, sin embargo, los niños no especifican de qué forma sucede esto, lo que indica que es una concepción que está en proceso de construcción.

Ambas características responden a experiencias fenomenológicas guiadas esencialmente por la percepción de los estudiantes. Las representaciones de estos niños están basadas en una intuición materialista que sugiere una estructura sustancialista como base de sus representaciones acerca del sonido. Esto sugiere que la formación de representaciones intuitivas se da a partir de la experiencia que las personas tienen con los fenómenos cotidianos, guiadas por la percepción, y que no son fáciles de identificar porque son parte del conocimiento implícito del sujeto (Carretero et al., 1996; Pozo y Carretero, 1992).

En dos casos se registró la idea de que el sonido “no se puede ver”, sin embargo, a lo largo de la entrevista se confirmó que, aunque los niños parecen distanciarse de la idea del sonido como objeto, mantienen la representación sustancialista porque le siguen otorgando propiedades que explican su movimiento aunque no sea visible para ellos. En otros dos casos, los niños mencionaron y/o percibieron la vibración durante la producción del sonido, sin embargo, no lograron articularlo en su representación. Es decir, intuyen que existe una relación entre las vibraciones y el sonido, pero aún no son capaces de hacerla explícita de forma organizada e integrarla a su representación.

Finalmente es importante destacar que, en ambos análisis de los resultados, la información es consistente en cuanto al análisis de las respuestas verbales con respecto a las respuestas gestuales. Las categorías protagonistas para la explicación sobre producción y percepción son las relacionadas con los objetos y las acciones, así como con el cuerpo (C2 y C3). Mientras que la concepción sustancialista (C4), aunque también aparece en esos temas, se vincula un poco más con la propagación.

Si bien hay que destacar que existe una limitación en cuanto al número de participantes analizados y la generalización de los resultados, resulta relevante destacar que el estudio de las representaciones en los estudiantes, sigue siendo un tema relevante. En particular resulta conveniente destacar la aportación de este estudio preliminar que atiende un tema poco

abordado con niños de esta edad y tomando en cuenta los gestos que expresan y a partir de los cuales se pueden analizar las representaciones intuitivas que construyen para explicarse los fenómenos que observan en su vida cotidiana y la comprensión que van logrando cuando, por ejemplo se desarrollan actividades específicas para que aprendan algún tema. Como se comentó previamente, las representaciones que los estudiantes construyen tienen una fuerte influencia en sus aprendizajes posteriores y muchas de estas representaciones tienen una fuerte resistencia a la modificación porque están estrechamente ligadas a situaciones de la vida cotidiana y tienen un grado de coherencia y solidez. Por ello, es conveniente continuar realizando investigaciones que ayuden a entender la construcción de representaciones y su evolución durante el desarrollo e instrucción escolar. Es decir, ampliar la muestra de trabajo no sólo en cantidad, si no en diferentes edades para comprender cómo es que el sonido pasa de ser un “ruido” a una propagación de ondas en el espacio material y cuál es la estructura base sobre la cual se construye. Además de contrastar los resultados que se generen con las investigaciones realizadas en otros países y los posibles alcances para una propuesta pedagógica de las ciencias en este nivel escolar.

Referencias

- Alibali, Martha W. y Mitchell J. Nathan (2012), “Embodiment in mathematics teaching and learning: Evidence from learners’ and teachers’ gestures”, *Journal of the Learning Sciences*, vol. 21, núm. 2, pp. 247-286.
- Barman, Charles R, Natalie S. Barman y Julie A. Miller (1996), “Two teaching methods and students’ understanding of sound”, *School Science and Mathematics*”, vol. 96, núm. pp. 63-67.
- Calvo, Paco y Tony Gomila (Eds.). (2008), *Handbook of cognitive science: An embodied approach*, USA, Elsevier.
- Carretero, Mario, Maite Baillo y Margarita Limón (1996), *Construir y enseñar: las ciencias experimentales*, Argentina, Aique.
- Charmaz, K. (2006). *Constructing grounded theory: A practical guide through qualitative analysis*. London: Sage.

- Chi, T. Michelene y Rod D. Roscoe (2002), "The processes and challenges of conceptual change", en Limón y Mason (Eds), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*, pp. 3-27. New York, NY: Springer.
- Chinn, Clark y William Brewer (1993), "The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction", *Review of educational research*, vol. 63, núm. 1, pp. 1-49.
- Clark, Andy y David Chalmers (1998), "The extended mind", *Analysis*, vol. 58, núm. 1, pp. 7-19.
- Clement, John, David E. Brown y Aletta Zietsman (1989), "Not all preconceptions are misconceptions: finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions." *International journal of science education*, vol. 11, núm. 5, pp. 554-565.
- Cook, Michelle Patrick (2006), "Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles", *Science education*, vol. 90, núm. 6, pp. 1073-1091.
- Corballis, Michael C. (2003), "From mouth to hand: gesture, speech, and the evolution of right-handedness", *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 26.02, pp. 199-208.
- Delval, Juan (2007), "Aspectos de la construcción del conocimiento sobre la sociedad (Aspects of the construction of knowledge about society)", *Educar*, vol. 30, pp. 45-64.
- diSessa, Andrea (2002), "Why conceptual ecology is a good idea", en Limon, y Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*, New York, NY: Springer, pp. 28-60.
- Driver, Rosalind (1989), "Students' conceptions and the learning of science", *International Journal of Science Education*, vol. 11, núm. 5, pp.481-490.
- Driver, Rosalind y Gaalen Erickson (1983), "Theories-in-action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science", vol. 10, pp. 37-60.
- Duschl, Richard A. y Richard E. Grandy (2008), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation*. USA, Sense Publishers.
- Edwards, Laurie D. (2009), "Gestures and conceptual integration in mathematical talk", *Educational Studies in Mathematics*, vol. 70, no 2, pp. 127-141.

- Eshach, Haim y Judah L. Schwartz (2006), "Sound Stuff? Naïve materialism in middle-school students' conceptions of sound", *International Journal of Science Education*, vol. 28, núm. 7, pp. 733-764.
- Gibbs Jr, Rimond, W. (2005), *Embodiment and cognitive science*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hlušík, Petr, Solodkin, Ana, Noll, Douglas C. y Small, Steven (2004), "Cortical plasticity during three-week motor skill learning" *Journal of Clinical Neurophysiology*, vol. 21, pp. 1-12.
- Hostetter, Autumn B. y Martha W. Alibali (2008), "Visible embodiment: Gestures as simulated action", *Psychonomic Bulletin Review*, vol. 15, núm. 3, pp. 495-514.
- Lautrey Jacques y Mazens, Karine (2004), "Is children's naive knowledge consistent? A comparison of the concepts of sound and heat", *Learning and Instruction*, vol. 14, núm. 4, pp. 399-423.
- Mazens, Karine y Lautrey Jacques (2003), "Conceptual change in physics: children's naïve representations of sound", *Cognitive Development*, vol. 18, pp. 159-176.
- McNeill, David (1992), *Hand and mind: What gestures reveal about thought*, USA, University of Chicago press.
- McNeill, David (1998), "Speech and gesture integration", *New Directions for Child and Adolescent Development*, vol. 79, pp. 11-27.
- McNeill, David (2008), *Gesture and thought*, USA, University of Chicago Press.
- Moreira, Marco Antonio, e Ileana María Greca (2005), "Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo", *Ciência & Educação. Bauru*, vol. 9, núm. 2, pp. 301-315.
- Nersessian, Nancy (1999). Model-based reasoning in conceptual change, en Magnani, L. Nersessian, Nancy, Thagard, Paul (eds.) *Model-based reasoning in scientific discovery*, USA, Springer, pp. 5-22.
- Osborne, Roger y Peter Freyberg (1998), *El Aprendizaje de las ciencias: implicaciones de las "ideas previas" de los alumnos*, vol. 121, Madrid, España, Narcea Ediciones
- Perales Palacios, Francisco Javier (1997), Escuchando el sonido: concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 15, núm. 2, pp. 233-247.
- Pérez Serrano, Gloria (1994), Investigación cualitativa: retos e interrogantes. Técnicas y análisis de datos, México, La Muralla.

- Piaget Jean e Barbel Inhelder ([1966] 2008), *The psychology of the child*, New York, Basic books.
- Postigo, Yolanda y Asunción López-Manjón (2012), "Students' Conceptions of Biological Images as Representational Devices", *Revista Colombiana de Psicología*, vol. 21, núm. 2, pp. 265-284.
- Pozo Juan Ignacio y Mario Carretero (1992), "Causal theories, reasoning strategies, and conflict resolution by experts and novices in Newtonian mechanics" en Andreas Demetriou, Anastasia Efklides, Michael Shayer (eds) *Neo-Piagetian Theories of Cognitive Development. Implication and Applications for Education*, Londres: Routledge, pp. 231-55.
- Pozo, Juan Ignacio (2003), *Adquisición de conocimiento: cuando la carne se hace verbo*, Madrid, Morata.
- Pozo, Juan Ignacio y Miguel Ángel Gómez-Crespo (1998), "Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico", Madrid, Morata.
- Reiner, Miriam, James Slotta, Michelene T. H. Chi y Lauren B. Resnick (2000), "Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions", *Cognition and instruction*, vol. 18, núm. 1, pp. 1-34.
- Rowe, Meredith L, Şeyda Özçalışkan y Susan Goldin-Meadow (2008), "Learning words by hand: Gesture's role in predicting vocabulary development", *First language*, vol. 28, núm. 2, pp. 182-199.
- Rowe, Meredith L. y Susan Goldin-Meadow (2009), "Differences in early gesture explain SES disparities in child vocabulary size at school entry", *Science*, vol. 323, pp. 951-953.
- Schumacher, G. M., Tice, S., Wen Loi, P., Stein, S., Joyner, C., y Jolton, J. (1993), "Difficult to change knowledge. Explanations and interventions. En *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*", Ithaca: Cornell University, en: https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUK Ewi5pbvxiZPSAhXJsFQKHTNWAOAQFggZMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.mlrg.org%2Fproc3pdfs%2FSchumacher_Knowledge.pdf&usg=AFQjCNFXI-ZtakrFEGrGN6-f2s1lZR55Bw&sig2=V3BD2n14sC2Rnp5zEmzw-w, (consulta febrero 4, 2017).
- Stake, Robert E (1998), *Investigación con estudio de casos*. Madrid, Ediciones Morata.
- Strike, Kenneth A. y George J. Posner (1985), *A conceptual change view of learning and understanding*, USA, Academic Press.

- Thompson, Evan, Adrian Palacios y Francisco Javier Varela (1992), "On the ways to color", *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 15, núm. 1, pp. 56-74.
- Tytler, Russell y Vaughan Prain (2010), "A framework for re-thinking learning in science from recent cognitive science perspectives" *International Journal of Science Education*, vol. 32, núm. 15, pp. 2055-2078.
- Wandersee, James, Joel Mintzes y Joseph Novak (1994), "Research in alternative conceptions in science", en D. Gabel (ed.), *Research Handbook on Research on Science, Teaching and Learning* New York, N.Y.: McMillan Pub, pp. 177-210.
- Whittaker, Andrew (2012), "Pupils Think Sound Has Substance--Well, Sort of", *School Science Review*, vol. 346, pp. 109-111.
- Wilson, Margaret (2002), "Six views of embodied cognition", *Psychonomic bulletin y review*, vol. 9, núm. 4, pp. 625-636.

Información de contacto: Mtra. Claudia-Elena Velázquez-Olmedo. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología. Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias. ICAT, Avenida Universidad N°3000, Ciudad Universitaria. Delegación Coyoacán, Ciudad de México, CP. 04510. E-mail: medeagnes@gmail.com

Construction of intuitive representations about sound in preschool children¹

Formación de representaciones intuitivas acerca del sonido en niños de preescolar

DOI: 10.4438/1988-592X-RE-2017-381-379

Claudia-Elena Velázquez-Olmedo

Leticia Gallegos-Cázares

Elena Calderón-Canales

Universidad Nacional Autónoma de México

Abstract

The present research aimed to know the intuitive representations that preschool children built about sound. The study is based on representational theory, which studies the construction of scientific knowledge through the development of mental representations, understanding by representation all construction, cognitively mediated by the subject, which allows him to account for a phenomenon or situation, and the theory of corporal cognition (embodiment), which refers to the role of the body in the construction and explanation of these representations. A case study was carried out consisting of six children of 3rd grade of preschool. The data were obtained through the individual application of a semi-structured interview based on the themes: production, perception and propagation of sound, which involved the use of graphic and material which allowed contextualizing and delimiting the interview. All the interviews were recorded in audio and video. Two different analyses were carried out in parallel, in the first, analysis categories were constructed from the verbal responses of the children. In the second analysis, the gestures used by the children to explain their answers were identified and categorized, or in some cases the gesture itself was the response. The results reveal that children have a substantialist representation

⁽¹⁾ This research was developed with the support of Secretaría de Educación Pública y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -México-(Ref. n° 240419. SEP-CONACyT). Acknowledgements: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) and Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT).

of sound, that is, they consider that sound has similar properties to those objects (mass and defined trajectory), based on a materialistic intuition about sound, which responds to experiences phenomenologically guided by perception. Some children finally infer that there is a relationship between vibrations and sound but they are not able to make explicit what kind of relationship it is.

Keywords: Preschool education, Science education, mental representations.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo conocer las representaciones intuitivas que tienen los niños de nivel preescolar acerca del sonido. El estudio se fundamenta en la teoría representacional, la cual estudia la construcción de conocimiento científico mediante el desarrollo de representaciones mentales, entendiendo por representación toda construcción, mediada cognitivamente por el sujeto, que le permite dar cuenta de un fenómeno o situación, y la teoría de la cognición corporal (embodiment), la cual hace referencia al papel del cuerpo en la construcción y explicitación de estas representaciones. Se realizó un estudio de casos constituido por seis niños de 3er grado de preescolar, los datos se obtuvieron mediante la aplicación individual de una entrevista semiestructurada basada en los temas: producción, percepción y propagación del sonido, que implicó el uso de material gráfico e instrumental lo que permitió contextualizar y delimitar las entrevistas, registradas en audio y video. Se realizaron paralelamente dos análisis diferentes, en el primero se construyeron categorías de análisis a partir de las respuestas verbales de los niños, en el segundo se identificaron y categorizan los gestos utilizados por los niños para explicar sus respuestas o en algunos casos siendo el gesto la propia respuesta. Los resultados revelan que los niños tienen una representación sustancialista del sonido, es decir, consideran que el sonido tiene propiedades similares a las de los objetos (masa y trayectoria definida), basada en una intuición materialista acerca del sonido, que responde a experiencias fenomenológicas guiadas esencialmente por la percepción. Finalmente intuyen que existe una relación entre las vibraciones y el sonido pero no son capaces de hacer explícito de qué tipo de relación se trata.

Palabras clave: Educación de la primera infancia, Enseñanza de las ciencias, Cognición, Representación mental.

Introduction

Representational training in knowledge construction has been studied by several researchers (Cook, 2006, Mazens and Lautrey, 2003, Osborne and Freyberg, 1998, Postigo and López-Manjón, 2012, Pozo and Gómez-

Crespo, 1998). Although all knowledge is a representational construct, we assume that certain representations influence the formation of other types of representation during the development of scientific literacy.

In this study, we use the concept of *intuitive representations* to refer to the set of ideas that individuals employ to interpret natural phenomena. Such representation may contradict what is established in the theories, principles and laws of scientific knowledge. We consider such representations to reflect the subject's perceptual and cognitive structure and to be based on daily experiences, both physical and social. Ultimately, such representations create an empirical understanding of science (Moreira and Greca, 2005; Pozo and Gómez-Crespo, 1998).

Regardless of school level, all students enter the classroom with intuitive representations that often are strong and persistent. Because representations of the world determine how individuals think and act, understanding how intuitive representations are formed is an important task.

In the study, the intuitive representations of preschool children regarding sound are analysed. The following sections present a description of the representations, a review of previous studies on the topic and the interpretative framework of the investigation. Subsequently, the study's results and conclusions are presented.

How do children develop their knowledge of the world?

Understanding the learning process has occupied researchers in various areas, from neuroscience to the arts and humanities. Thus, different approaches have been developed to explain learning. Although the study of how students learn sciences has a long tradition, investigations that address how children of preschool age learn science commenced only a few years ago.

To develop an account of how the world works, children establish relationships between things and facts. These relationships help them explain natural phenomena, physical relationships between objects, and the role of others and themselves. This articulated set of relationships has been termed *representations*. These representations enable us to explain what occurs, make sense of phenomena and anticipate what will occur (Chi and Roscoe, 2002, Duschl and Grandy 2008, Nersessian,

1999, Tytler and Prain, 2010). For example, a visual-spatial representation enables us to situate what occurs in a location and establish relationships of dependency between events. However, it is temporal representation that gives meaning to causality. An adequate representation, which offers the possibility of experimenting more effectively (not necessarily with objects), opens up more ways for individuals to represent the world. However, having a representation of the world is not enough. We must make the world explicit to ourselves and to others in a way that generates new meanings.

In addition to the explanatory function, representations seek to satisfy other needs of the subject. Such needs are not necessarily cognitive. They also possess ideological, motivational or affective aspects. Moreover, they are not fully articulated and available at any time. That is, at the moment a representation is required, the subject combines different elements from among those that are available to respond to the new representational demand. The elements of construction are always available. However, the articulation within the structure that produces meaning only appears to respond to a need at a certain time (Tytler and Prain, 2010). The demand can be to solve a practical problem or to explain a phenomenon.

The explanatory function of a representation appears each time the subject must solve a problem. Thus, a representation is linked to the subject's purpose. Importantly, the representations that each individual must form to function in the world are prior to scientific knowledge and developed before science emerged (Delval, 2007).

One problem we face in the study of representations is that they cannot be assessed directly. We must infer them from what subjects do or state regarding objects or phenomena (Driver, 1989; Nersessian, 1999; Tytler and Prain, 2010). Thus, language and the ability to use abstract systems of representation substantially increase the possibilities of explanation. However, these abstract systems are only the vehicle through which the representations are made manifest.

Role of the body in representational construction

A number of researchers have adopted the concept of body cognition *embodiment* (Pozo, 2003) as an interpretive framework to understand and explain the representations that individuals have regarding scientific

or physical concepts (Alibali and Nathan, 2012; Calvo and Gomila, 2008; Edwards, 2009; Gibbs, 2005; Hostetter and Alibali, 2008). This concept can be considered to develop from the psychology of Jean Piaget, who claimed that cognitive abilities are based on sensorimotor skills (Wilson, 2002). Thus, Piaget believed that cognitive processes are strongly rooted in sensory-motor interactions of the body with the world.

What function or functions does the body have in the cognitive process? According to Clark and Chalmers (1998) and Wilson (2002), the body has at least two distinct but related functions in the cognitive process.

The first is that the body can function as a *cognitive limitation*. In this sense, speaking or thinking about objects, whether concrete or abstract, involves the invocation, deployment or reactivation of specific patterns of body activity (i.e., the body shapes the nature of cognitive activity and the content of processed representations). Examples include a) *the perception of colour* (the concepts and experiences of the colours are due to the properties of the cells of the retina and the characteristics of the visual apparatus; thus, we only perceive the spectrum of visible light); b) *the detection of sound*, which owes its peculiarity to the distance between the ears; and c) the *spatial metaphor*, which is the way we conceptualize the body based on “embodied” experiences. For example, the conceptual metaphor that *time is a movable object* expresses an action and that “Monday comes before Tuesday” refers to movement through time of “what comes before” and “the day left behind” (Thompson et al., 1992).

The second function concerns the different ways in which the body acts as a *distributor for cognitive processing*, i.e., operates as a system of partial interpretation of cognition. That is, as part of the cognitive process, the body “extends” into cognitive tasks within structures that are not limited to the central nervous system (non-neuronal), thus functioning as a partial performer of mental processes. Examples of non-neural processes primarily include gestures and postures, which have been addressed in studies on cognitive operations, language production, cortical plasticity and the acquisition of motor skills of the hand (Rowe and Goldin-Meadow, 2009; Rowe et al., 2008).

Similarly, other research suggests that the increase in volume of movement representations is modelled by embodied experiences and that changes induced by the body help regulate the brain with respect to information processing and cognitive development (Hlustik et al., 2004). These research outcomes suggest that the body plays an important role in representational formation.

Thus, purely physical activity, specifically gestures, has been considered a form of communication. In fact, for certain authors, movements play a cognitive role in the development of vocabulary and language (Rowe and Goldin-Meadow, 2009; Rowe et al., 2008). In addition, physical movement is considered to contribute to understanding meaning and to forming representations.

One of the most frequently cited studies on the function of gestures in representation formation was by Corballis (2003), who notes that this process involves neurons that transmit information regarding the actions of others, termed *mirror neurons*. Such neurons compose a system of analogue representation that is iconic in origin and underlies the ability to point, imitate and direct the gaze with communicative intention. Thus, these neurons play a role in nonverbal communication (e.g., pointing, showing, demonstrating, expressing emotions) related to pantomime and the ability to imitate the action of others (mimicry).

According to McNeill (1992, 1998, 2008), gestures have four dimensions. a) Deictic gestures (pointing) indicate objects or locations in the physical environment. b) Iconic gestures maintain a perceptual relation of similarity between their form and the semantic content of the representation, i.e., the mode of realization of the gesture embodies relatable aspects of the semantic content. c) Metaphorical gestures: here, the semantic content is provided through a metaphor (e.g., joined hands as an expression of “holding” an idea, which would be a metaphor of the idea as an object). d) Rhythmic gestures (beat gestures) are motor movements or rhythmic gestures that do not possess semantic content but are contained in the prosody of semantic content. Following the logic of Corballis (2003) and McNeill, mimic gestures are highly iconic and constitute a basic principle of communicative intention.

Intuitive representations and scientific literacy

Intuitive representations are personal constructions that students bring to their science classes regardless of their age, gender, culture or educational level. Many of these representations have been formed from the experience of individuals with everyday phenomena and guided by perception. They are not easy to identify because they are part of the subject's implicit knowledge. In addition, they are highly resistant

and difficult to modify. Therefore, they often become strong barriers to understanding scientific concepts and have remained unaltered by traditional science instruction. These representations are not exclusive to students. Many teachers share the intuitive representations of their students although they may be unaware of it (Carretero et al., 1996, Driver, 1989, Driver and Erickson, 1983, Pozo and Carretero, 1992; Wandersee et al., 1994).

There are two main explanations for the resistance to the modification of intuitive representations. One explanation is that representations are closely linked to situations of daily life and thus possess a strong degree of coherence and variable solidity. In such situations, they are appropriate and thus more difficult to modify (Pozo and Carretero, 1992). The other is the lack of prior knowledge. If one does not possess a certain level of knowledge, it is difficult to understand the arguments presented to drive the change of those representations (Strike and Posner, 1985, Chinn and Brewer, 1993, Schumacher et al., 1993).

Intuitive representations regarding sound

Probably because the transmission of sound can be a difficult concept to understand, studies on intuitive representations regarding sound are scarce.

Several studies suggest that although children consider sound as an object, they do not award it all the criteria of a physical entity. Mazens and Lautrey (2003) interviewed a group of 89 students 6 to 10 years of age, who were asked to answer a series of questions to determine if they confer to sound physical properties, such as substantiality (i.e., sound has the characteristics of a substance), trajectory (i.e., sound follows a linear trajectory between two points), permanence (i.e., sound travels from its origin in an infinite longitudinal trajectory of time) or weight (i.e., sound is affected by gravity). These authors found that 46% of the children considered that “sound went through holes” in objects, 33% believed that sound travelled directly to the ear or bounced off surfaces before it reached a person’s ear, 20% believed that a sound “continues forever” (i.e., an infinite characteristic of time), and 14% thought that sound had weight. This study showed that when children perceive sound as an object, they attribute the characteristic of substantiality more often than weight or permanence.

A year later, Lautrey and Mazens (2004) analysed the organization of intuitive representations of sound and compared them with such representations of heat. In addition, they investigated the process of conceptual change that occurs in such representations. To this end, they individually interviewed 83 boys and girls (approximately 50% male) 8 years of age to determine if they attributed to sound the properties of objects (such as substantiality, weight, permanence and trajectory) or the properties of physical processes (for example, proximity transmission). These two categories would account for the conceptual change. Their results indicated that children attribute object properties to sound in a hierarchical manner. That is, at the basic level (first hierarchical level), they attribute the quality of permanence. At the next level, they attribute the quality of weight. Finally, at the third level, they attribute the quality of substance. That is, sound is assumed to be a type of matter, which implies that it cannot pass through solids. Lautrey and Mazens' results also show that these intuitive representations seem to be relatively organized and that conceptual change is a long-term process. For Whittaker (2012), physics is a subject regarding which students have a large number of intuitive representations that are incompatible with scientific knowledge in addition to being deeply rooted. For this author, sound is a good example of such representations because it requires the visualization of a form of energy that is transmitted through an invisible medium in an invisible way. To identify the intuitive representations of students regarding the nature of sound and its transmission, the researcher conducted individual interviews with 28 students 11 to 14 years old. The interview questions included the following: 1. Your teacher is talking in class. How can you hear him or her? 2. The teacher is talking loudly in the classroom next door. How can you hear him or her? 3. If you leave the room and scream, how far will the sound travel? 4. Could you hear someone talking to you if the person were in space? Similarly to the previously described studies (Lautrey and Mazens, 2003, Mazens and Lautrey, 2004), Whittaker concluded that children's representations of sound are based on a substantialist intuition. That is, the students attribute object properties to sound, such as trajectory and the ability to pass through objects and move.

Because few studies have addressed the intuitive representations of students regarding sound, Eshach and Schwartz (2006) used the substance scheme (Reiner et al., 2000) to determine whether such a scheme is present

in the thinking of high-school students and to examine how students use the characteristics of the scheme to explain sound. They also sought to determine if the characteristics of the substance scheme are used with local coherence (that is, individually) or if more coherent consistencies can be identified at a general level among the properties that students use to explain sound phenomena. To this end, in-depth interviews using open and standardized questions were conducted with ten high-school students. The results show that based on the substance scheme, sound was perceived by the participants as something that can be pushed, rubbed or controlled and as an abnormal substance with respect to its stability, corpuscular nature, additive properties and inertial characteristics.

Thus, the students' representations of sound do not seem to fit the scheme of Reiner et al. (2000) in all aspects. The results also indicate that the students' representations regarding sound lacked internal coherence. When the students were questioned regarding the explanatory scope of their answers, they were inconsistent. Regarding local and general coherence, the authors report that the students' concept of sound coincided with the proposal of diSessa (2002), who considers that as a fragmented collection, such representations are loosely connected. Eshach and Schwartz (2006) conclude that sound is perceived only as a type of material (i.e., with qualities of substance). They also note that more research is required to help determine the relevance of the substance scheme.

Finally, Perales (1997) studied the understanding of acoustics in students of different educational levels starting with an analysis of scientific content of three types: structural, didactic and sociological. Perales concludes that analogously to light, sound is identified by its cause (emission) and by its effects (detection). However, sound also exists as an entity in space (propagation). Therefore, it represents an advance relative to what occurs with light. In this sense, progression by age or educational level is evident: sound goes from being "a noise" to being a propagation of waves in material space.

Perales (1997) considers this outcome to represent an important qualitative advance in student understanding. It reflects evidence of the propagation of sound being attributed to all the particles in the medium. However, the nature of the waves was far from being understood by the students. Finally, it suggests that this progression is manifested in terms of the semantic richness of the term *sound*, which, while mostly considered as noise by younger students, acquires a variety of adjectives descriptive of its qualities among older students. The significant presence

of “music” as a descriptor of sound among younger individuals was also noteworthy.

The described studies provide an overview of the type of representations that students develop regarding the phenomenon of sound. Generally, there is little research on intuitive representations of sound, and there are no studies on preschool populations.

Based on the idea that individuals construct intuitive representations regarding the phenomena they observe and that the use of gestures (i.e., body cognition) forms part of these representations, the objective of this study was to identify *intuitive representations* of children regarding sound and their relation to the formation of scientific knowledge in preschool. To understand the complexity of the research problem and to establish explanatory levels within a given process or situation (Stake, 1998), a systematic, in-depth inquiry is required. Therefore, the analysis is based on a case study. In addition, the observations are detailed and facilitate studying multiple and varied aspects. We examine our subjects and outcomes in relation to others while viewing them within their environments. Therefore, our approach is inductive (Pérez Serrano, 1994).

Method

The research is qualitative and corresponds to a case study.

Sample

The sample consisted of six preschool students (two girls and four boys) between 5 and 6 years old. The students belonged to two different regions. Two were from Tesisgán, Puebla, and four were from Mexico City.

Instruments

The data were collected through a semi-structured interview that addressed three aspects of sound: production (i.e., how sound can be produced), perception (i.e., how sound is perceived; who can perceive sound) and propagation (how sound travels; how far it can travel). Table I shows sample questions.

TABLE I. Structure of the interview

Theme	Question
Production	Look around you, with what things can you make sound?
Perception	Observe these images (dog, whale, baby, child, chicken, tree, stone, bird, butterfly, fish, etc.). Who can listen? Why can they listen? How do you know they are listening? If you talk to the butterfly, can it hear you? If you talk to the tree, can it hear you?
Propagation	The triangle is hit. When you stop listening you ask where the noise went, how far away it went. What happens to that sound, it goes away forever, stops or comes back?

Source: self-made

Because sound involves a level of abstraction that is difficult to explain to young children, graphic and instrumental material was used to contextualize and delimit the interview. This material also supported the process of representational construction of the children by placing them in a specific situation in which they could produce and perceive sound (while the questions were asked). The children could use the aids to make their representations explicit. Table II describes the material used during the session.

TABLE II. Material used during the interview

Theme	Material
Production	Image sheets corresponding to people, parts of the body, instruments or objects with which sound can be produced.
Perception	Image sheets corresponding to people or objects which can produce sound by themselves (truck, tricycle, dog tree, whale, bird, rain, girl (or boy), baby, stone). Image sheets corresponding to people and animals. Sheet of paper that is placed in front of the face of the interviewer, between him and the child. Marimba with keys of three different materials (rubber, wood and metal).
Propagation	An alarm clock, four boxes of: wood, glass, cardboard and acrylic (assuming that the clock is placed in each box). Metallic musical triangle. Hose phone. A pair of earmuffs. A drum and a metal bar suspended centimetres from it.

Source: self-made

Process

After we received written authorization from parents and school authorities, the schools provided a space for the interviews. The interview sessions lasted an average of 30 minutes for each child, distributed into two sub-sessions per day, which were audio and video recorded.

In principle, the interview sequence was the same for all participants. However, in certain cases, the order was changed with the intention of not losing the attention of the interviewees and understanding their thought processes.

Data analysis

Once the interviews were transcribed, two different analyses were performed in parallel. In the first analysis, categories were constructed to organize the data and interpret them. This categorization was based on grounded theory (Charmaz, 2006), which states that the theory is elaborated and emerges from the analysed data. The explanations and actions of the children were analysed, which thus constituted the response categories of the subjects. Table III describes the criteria used to define the categories. These criteria were based on the ideas that the children expressed during the interviews.

TABLE III. Categories of interview analysis

Criterion	Category
Only with letters and words can sound be produced. The sound is produced by the letters; the other sounds are noise.	1. Word-Sound
It is possible to produce sound if an action is performed on a specific object: i.e., touch, whip, carve, blow, drag, pull and break. The sounds are different because the material that produces it is different.	2. Object-Action-Material
Produce sound with the body and/or perceive sound with the ears. The things that have life can listen. However, a tree does not listen. So it is inferred that plants in general are considered objects.	3. Body-Sound
	4. Substantialist characteristics
The sound is inside the objects, so it is necessary to remove it from them and it can be trapped.	4.1. Contention
The sound can pass through the material that is less hard.	4.2. Go through objects
The sound follows a definite path to the objects or ears. Sound can be stopped and continue the trajectory when it occurs again.	4.3. Trajectory
The "intensity" of the sound depends on the force with which the object is touched. There are sounds that weigh more than others. That is, the sounds are different depending on the weight.	4.4. Force-weight

Source: self-made

In the second analysis, the gestures used by the children to explain their answers were identified and categorized. Alternatively, in certain cases, the gesture was the response itself, following grounded theory. Table IV shows and describes the gestures identified in the interview.

TABLE IV. Dimensions used for gesture analysis

Type of gesture	Description
Pointing gesture	Point with the index finger or with the whole hand, accompanied by the verbal response or not.
Iconic gesture	Broad movements (usually by hand) that are related to the semantic content of the answers.
Metaphorical gesture	Related to the semantic content of the response.
Beat gesture	Motor movements and/or rhythmic gestures that have no relation to the semantic content of the response.

Source: Re-elaborate from McNeil (1992, 1998 and 2008)

Results

Next, the results from the analysis of the interviews are presented. First, we describe the categories identified in the children's responses, which correspond to the information presented in Table III. Subsequently, the gestures used in the interviews are described. The analysis was performed for the three addressed themes: the perception of sound, the production of sound and the propagation of sound.

Table V shows the frequencies observed for each of the analysis categories (Table III) for each of the subjects in the sample.

TABLE V. Frequencies of the categories of analysis present in the representational formation of children with respect to sound according to the theme

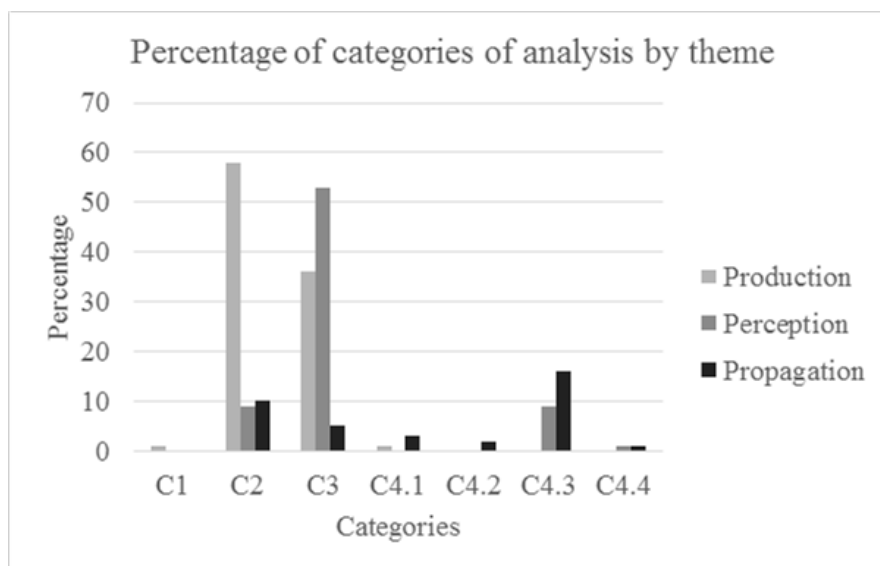
Theme	Categories						
	C1 <i>f</i>	C2 <i>f</i>	C3 <i>f</i>	C4.1 <i>f</i>	C4.2 <i>f</i>	C4.3 <i>f</i>	C4.4 <i>f</i>
Production	1	58	36	1	0	0	0
Perception	0	9	53	0	0	9	1
Propagation	0	10	5	3	2	16	1

Source: self-made

Note: C1. Word-sound, C2. Object-action-material, C3. Body-sound, C4.1. Contention, C4.2. Go through objects, C4.3. Trajectory, C4.4. Force-weight.

Figure I shows which categories were used for each topic and their percentages (calculated from the total of the children’s responses).

FIGURE I. Percentage of categories of analysis by theme



Of a total of 205 categorized answers (Figure I), it can be observed that category C1 only occurs in one case, probably because the student was in the process of learning to read and write and considered that sound could only be made with words. Categories C2 (37.56%) and C3 (45.08%) had the highest percentage of sound representation use. They were employed to explain the production and perception of sound in all cases. Category C4 (16.1%), which includes Subcategories C4.1, C4.2, C4.3 and C4.4, occurs in the representations of all the students. Although it is used to a lesser extent, it is more often linked with the themes of the perception and propagation of sound. It is necessary to note that Case 2 did not yield enough information. Thus, in this case, only Categories C2 and C4.3 were used to explain sound production and propagation. The categories account for the answers the children provided to all the interview questions. However, as mentioned, many of the children used gestures to answer the questions.

The second analysis identified the gestures that the children used to answer the interview questions, which on several occasions constituted the answer itself. Table IV describes the frequencies of the gestures used in each of the categories of analysis and for each theme. This analysis shows that the children only used two gesture types: deictic and iconic.

TABLE VI. Frequency of the gestures used in the categories of analysis present in the representational formation of children with respect to sound according to the theme

Theme	Categories and type of gesture													
	C1		C2		C3		C4.1		C4.2		C4.3		C4.4	
	PG	IG	PG	IG	PG	IG	PG	IG	PG	IG	PG	IG	PG	IG
Production	2	1	27	34	12	15	7	1	3	1	7	8		
Perception			2	3	38	1	2		2		1	2	1	
Propagation			1	1			2		1		2	5		

Source: self-made

Note: PG pointing gesture; IG iconic gesture.

Figure II shows the percentages (calculated from the total gestures recorded from the sample) and gesture types that were used by category and topic.

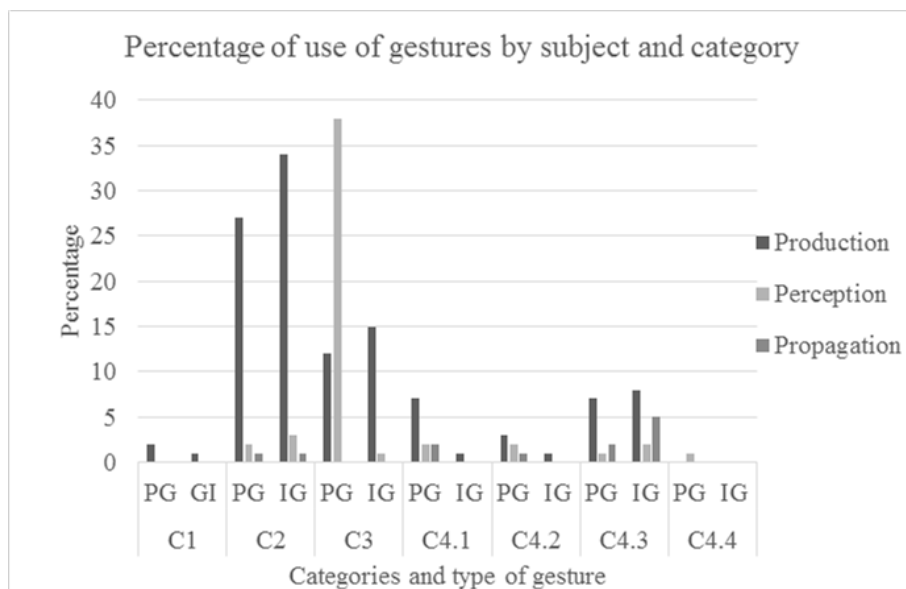
Figure II shows that of the 182 analysed gestures, Categories C2 (37.57%) and C3 (36.46%) exhibited the highest use frequency. Category C4 generally occupied third place (24.31%) and is distributed mainly between subcategories C4.1, C4.2 and C4.3. The type of gesture most used by the children was deictic (pointing to things; 54.7%), followed by iconic, i.e., broad movements related to the content (39.23%).

Gestures were used more frequently (65.19%) in connection with the theme of sound production, followed by the theme of sound perception (28.18%) and finally the theme of sound propagation (6.63%).

Importantly, the other forms of gesture identified in the literature, i.e., metaphorical and rhythmic, did not appear in the children's responses in any of the analysed categories probably because metaphorical gestures involve a more abstract construction than deictic and iconic gestures can express. That is, instead of representing specific objects or events, metaphorical gestures represent concepts and relationships. Therefore, when considering sound with characteristics of an object, children are

incapable of using a metaphorical element to describe such a sound. Unlike an iconic gesture, a rhythmic gesture is not communicative. Such representations are not linked to semantic content but to oral production.

FIGURE II. Percentage of use of gestures by subject and category



The data analysis revealed that, in all cases, the children had a representation based on actions that produce sound (C2) and the way in which they perceived sound (C3). However, a substantialist representation of sound was in the process of being constructed (C4), that is, that sound has properties analogous to those of objects (e.g., weight or a defined trajectory). Subcategories C4.2 and C4.3 are present for all subjects, Subcategory C4.1 only appears for one student, and finally, Subcategory C4.4 appears for two students.

This idea of the substantialization of sound is similar to that reported in other investigations, although the characteristics of the analysed samples, in particular age, are different. Regarding the substantialist characteristic, other studies suggest that although children consider sound an object, all the criteria of a physical entity do not apply (Mazens

and Lautrey, 2003). A similar phenomenon can be observed in the results of this study regarding the type of substantive response that the students provided. In the analysed answers, this representation is supported by elements centred on the characteristics of materials and the actions that the students perform to produce or perceive sound.

In the case of gestures, it was generally observed that the gesture most used in all cases to express representations was the *deictic* gesture, primarily regarding sound production and sound perception, with the use frequency decreasing for sound propagation. This is because at a hierarchical level, the deictic gesture is the most basic dimension (McNeill, 1992, 1998, 2008) and can replace verbal communication (e.g., pointing, showing, expressing emotions). Category C1 was expressed in Case 1. Category C2 was expressed in Cases 1, 3, 4, 5 and 6. Regarding Category C4, Subcategory C4.1 was expressed in Cases 1, 3, 4, 5 and 6, Subcategory C4.2 appeared in Cases 1, 3, 4 and 6, Subcategory C4.3 was expressed in all cases, and Subcategory C4.3 was only expressed in Case 6.

In the case of *iconic* gestures, the frequency of use was greater in explaining sound production, corresponding to C1 for Case 1, C2 for all cases and C3 in Cases 1, 3, 4, 5 and 6. In addition, although in all cases Category C4 is expressed, Subcategory C4.1 appeared in Cases 1, 3, 4, 5 and 6, Subcategory C4.2 appeared in Cases 1, 3, 4 and 6, Subcategory C4.3 was present in all cases, and Subcategory C4.4 only appeared in Case 6.

Discussion and Conclusion

In the course of the interviews, it was possible to observe in the children the existence of a representation of sound that had two main characteristics. The first was to attribute to sound the properties of an object, which corresponds to analysis categories C2 and C3. This characteristic appeared in all cases, whereby it was believed that sound cannot pass through a solid. Therefore, a sound can be “contained” inside a solid, for example, inside a container, and for a sound to spread, a specific action and a space without obstacles are required. The second characteristic was that to explain observations that initially contradicted the initial representation, the children seem to construct a synthetic mental representation (Vosniadou, 1994). This characteristic was observed

in Cases 1, 3, 4 and 6. In these cases, the students represented sound as a substance but one that could pass through a solid. Thus, here, sound was awarded different properties unique to solids because the children believed that sound could pass through less hard or less heavy objects. However, the children did not specify how this phenomenon occurs, which indicates that this concept was in the process of construction.

Both characteristics respond to phenomenological experiences guided essentially by the students' perception. The representations of these children are based on a materialist intuition that suggests a substantialist structure as the basis of their representations regarding sound. This outcome suggests that the formation of intuitive representations is based on the experience with everyday phenomena, guided by perception. Such intuitions are not easy to identify because they are part of the implicit knowledge of the subject (Carretero et al., 1996, Pozo and Carretero, 1992).

In two cases, the idea that sound cannot be seen was observed. However, throughout the interviews, it was confirmed that although the children seemed to distance themselves from the idea of sound as an object, they maintained the substantialist representation because they continued to grant sound properties that explain its movement although it is invisible to them. In two other cases, the children mentioned or perceived vibration during the production of sound. However, they did not manage to articulate this concept in their representations. That is, they intuited that there is a relationship between vibrations and sound. However, they were not yet able to make that relationship explicit in an organized way and integrate it into their representations.

Finally, it is important to note that the results were consistent between the analyses of the verbal responses and the gestural responses. The main categories used to explain sound production and perception were related to objects and actions as well as to the body (C2 and C3). Although it also appears in connection with these themes, the substantialist conception (C4) was linked somewhat more strongly with sound propagation.

One limitation of this study was the number of participants, which restricts the generalization of the results. However, the study of representations in students continues to be a relevant topic. A particular contribution of this preliminary study is that it addresses a topic little discussed in connection with children of this age and considers the gestures such subjects use. Thus, we were able to analyse the intuitive

representations that children constructed to explain phenomena observed in their daily life and the understanding they achieve when, for example, specific teaching activities are used. As previously mentioned, the representations that the students construct strongly influence subsequent learning. In addition, many of these representations have a strong resistance to modification because they are closely linked to situations of everyday life and thus possess a strong degree of coherence and solidity. Therefore, additional research is required to improve our understanding of how representations are constructed and how they evolve during schooling. That is, the sample should be expanded not only in quantity but also to include different ages to understand how sound goes from being a noise to a propagation of waves in material space and to understand the basis on which this transformation occurs. In addition, researchers should compare their results with those for other countries with the purpose of determining the scope of a pedagogical proposal for teaching science at the elementary level of education.

References

- Alibali, Martha W. and Mitchell J. Nathan (2012), "Embodiment in mathematics teaching and learning: Evidence from learners' and teachers' gestures", *Journal of the Learning Sciences*, vol. 21, núm. 2, pp. 247-286.
- Barman, Charles R, Natalie S. Barman y Julie A. Miller (1996), "Two teaching methods and students' understanding of sound", *School Science and Mathematics*", vol. 96, n. pp. 63-67.
- Calvo, Paco and Tony Gomila (Eds.). (2008), *Handbook of cognitive science: An embodied approach*, USA, Elsevier.
- Carretero, Mario, Maite Baillo and Margarita Limón (1996), *Construir y enseñar: las ciencias experimentales*, Argentina, Aique.
- Charmaz, K. (2006). *Constructing grounded theory: A practical guide through qualitative analysis*. London: Sage.
- Chi, T. Michelene and Rod D. Roscoe (2002), "The processes and challenges of conceptual change", in Limón and Mason (Eds), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*, pp. 3-27. New York, NY: Springer.

- Chinn, Clark and William Brewer (1993), "The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction", *Review of educational research*, vol. 63, n. 1, pp. 1-49.
- Clark, Andy and David Chalmers (1998), "The extended mind", *Analysis*, vol. 58, n. 1, pp. 7-19.
- Clement, John, David E. Brown and Aletta Zietsman (1989), "Not all preconceptions are misconceptions: finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions." *International journal of science education*, vol. 11, n. 5, pp. 554-565.
- Cook, Michelle Patrick (2006), "Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles", *Science education*, vol. 90, n. 6, pp. 1073-1091.
- Corballis, Michael C. (2003), "From mouth to hand: gesture, speech, and the evolution of right-handedness", *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 26.02, pp. 199-208.
- Delval, Juan (2007), "Aspectos de la construcción del conocimiento sobre la sociedad (Aspects of the construction of knowledge about society)", *Educar*, vol. 30, pp. 45-64.
- diSessa, Andrea (2002), "Why conceptual ecology is a good idea", en Limon, y Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*, New York, NY: Springer, pp. 28-60.
- Driver, Rosalind (1989), "Students' conceptions and the learning of science", *International Journal of Science Education*, vol. 11, n. 5, pp.481-490.
- Driver, Rosalind and Gaalen Erickson (1983), "Theories-in-action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science", vol. 10, pp. 37-60.
- Duschl, Richard A. and Richard E. Grandy (2008), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation*. USA, Sense Publishers.
- Edwards, Laurie D. (2009), "Gestures and conceptual integration in mathematical talk", *Educational Studies in Mathematics*, vol. 70, n. 2, pp. 127-141.
- Eshach, Haim and Judah L. Schwartz (2006), "Sound Stuff? Naïve materialism in middle-school students' conceptions of sound", *International Journal of Science Education*, vol. 28, n. 7, pp. 733-764.

- Gibbs Jr, Rimond, W. (2005), *Embodiment and cognitive science*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hluščík, Petr, Solodkin, Ana, Noll, Douglas C. and Small, Steven (2004), “Cortical plasticity during three-week motor skill learning” *Journal of Clinical Neurophysiology*, vol. 21, pp. 1–12.
- Hostetter, Autumn B. and Martha W. Alibali (2008), “Visible embodiment: Gestures as simulated action”, *Psychonomic Bulletin Review*, vol. 15, n. 3, pp. 495-514.
- Lautrey Jacques and Mazens, Karine (2004), “Is children’s naive knowledge consistent? A comparison of the concepts of sound and heat”, *Learning and Instruction*, vol. 14, n. 4, pp. 399-423.
- Mazens, Karine and Lautrey Jacques (2003), “Conceptual change in physics: children’s naive representations of sound”, *Cognitive Development*, vol. 18, pp. 159–176.
- McNeill, David (1992), *Hand and mind: What gestures reveal about thought*, USA, University of Chicago press.
- McNeill, David (1998), “Speech and gesture integration”, *New Directions for Child and Adolescent Development*, vol. 79, pp. 11-27.
- McNeill, David (2008), *Gesture and thought*, USA, University of Chicago Press.
- Moreira, Marco Antonio, and Ileana María Greca (2005), “Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo”, *Ciência & Educação. Bauru*, vol. 9, n. 2, pp. 301-315.
- Nersessian, Nancy (1999). Model-based reasoning in conceptual change, en Magnani, L. Nersessian, Nancy, Thagard, Paul (eds.) *Model-based reasoning in scientific discovery*, USA, Springer, pp. 5-22.
- Osborne, Roger and Peter Freyberg (1998), *El Aprendizaje de las ciencias: implicaciones de las “ideas previas” de los alumnos*, vol. 121, Madrid, España, Narcea Ediciones
- Perales Palacios, Francisco Javier (1997), Escuchando el sonido: concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 15, n. 2, pp. 233-247.
- Pérez Serrano, Gloria (1994), Investigación cualitativa: retos e interrogantes. Técnicas y análisis de datos, México, La Muralla.
- Piaget Jean e Barbel Inhelder ([1966] 2008), *The psychology of the child*, New York, Basic books.

- Postigo, Yolanda and Asunción López-Manjón (2012), "Students' Conceptions of Biological Images as Representational Devices", *Revista Colombiana de Psicología*, vol. 21, n. 2, pp. 265-284.
- Pozo Juan Ignacio y Mario Carretero (1992), "Causal theories, reasoning strategies, and conflict resolution by experts and novices in Newtonian mechanics" en Andreas Demetriou, Anastasia Efklides, Michael Shayer (eds) *Neo-Piagetian Theories of Cognitive Development. Implication and Applications for Education*, Londres: Routledge, pp. 231-55.
- Pozo, Juan Ignacio (2003), *Adquisición de conocimiento: cuando la carne se hace verbo*, Madrid, Morata.
- Pozo, Juan Ignacio and Miguel Ángel Gómez-Crespo (1998), "*Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*", Madrid, Morata.
- Reiner, Miriam, James Slotta, Michelene T. H. Chi and Lauren B. Resnick (2000), "Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions", *Cognition and instruction*, vol. 18, n. 1, pp. 1-34.
- Rowe, Meredith L, Şeyda Özçalışkan and Susan Goldin-Meadow (2008), "Learning words by hand: Gesture's role in predicting vocabulary development", *First language*, vol. 28, n. 2, pp. 182-199.
- Rowe, Meredith L. and Susan Goldin-Meadow (2009), "Differences in early gesture explain SES disparities in child vocabulary size at school entry", *Science*, vol. 323, pp. 951-953.
- Schumacher, G. M., Tice, S., Wen Loi, P., Stein, S., Joyner, C., y Jolton, J. (1993), "Difficult to change knowledge. Explanations and interventions. En *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*", Ithaca: Cornell University, en: https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUK Ewi5pbvxiZPSAhXJsFQKHTNWAOAQFggZMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.mlrg.org%2Fproc3pdfs%2FSchumacher_Knowledge.pdf&usg=AFQjCNFXl-ZtakrFEGrGN6-f2s11ZR55Bw&sig2=V3BD2n14sC2Rnp5zEmzw-w, (date of reference: 4 February, 2017).
- Stake, Robert E (1998), *Investigación con estudio de casos*. Madrid, Ediciones Morata.
- Strike, Kenneth A. and George J. Posner (1985), *A conceptual change view of learning and understanding*, USA, Academic Press.
- Thompson, Evan, Adrian Palacios and Francisco Javier Varela (1992), "On the ways to color", *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 15, n. 1, pp. 56-74.

- Tytler, Russell and Vaughan Prain (2010), "A framework for re-thinking learning in science from recent cognitive science perspectives" *International Journal of Science Education*, vol. 32, núm. 15, pp. 2055-2078.
- Wandersee, James, Joel Mintzes and Joseph Novak (1994), "Research in alternative conceptions in science", in D. Gabel (ed.), *Research Handbook on Research on Science, Teaching and Learning* New York, N.Y.: McMillan Pub, pp. 177-210.
- Whittaker, Andrew (2012), "Pupils Think Sound Has Substance--Well, Sort of", *School Science Review*, vol. 346, pp. 109-111.
- Wilson, Margaret (2002), "Six views of embodied cognition", *Psychonomic bulletin review*, vol. 9, n. 4, pp. 625-636.

Contact address: Mtra. Claudia-Elena Velázquez-Olmedo. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología. Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias. ICAT, Avenida Universidad N°3000, Ciudad Universitaria. Delegación Coyoacán, Ciudad de México, CP. 04510. E-mail: medeagnes@gmail.com