

FraccionAR

Un juego para aprender sobre fracciones basado en Interacción Tangible

Cecilia Sanz^{1,2}, Mauricio Nordio¹ y Verónica Artola^{1,3}

¹Instituto de Investigación en Informática III-LIDI (Centro Asociado CIC) - Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata

²Investigador Asociado de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

³Becaria CONICET

Resumen: en este trabajo se presenta un juego diseñado para aprender sobre las diferentes representaciones de fracciones, un tema que resulta de dificultad para los niños de nivel primario. El juego combina el uso de objetos físicos (juguetes que representan porciones de pizzas y de chocolates) con una aplicación informática sobre una mesa interactiva (*tabletop*). De esta manera, los niños asocian partes de objetos tangibles y manipulables con representaciones abstractas de lo que es una fracción. Se ha presentado el juego en dos exposiciones con público en general, y se ha desarrollado una primera sesión con niños de 8 y 9 años para la evaluación del juego. El objeto de la evaluación ha sido analizar la usabilidad, la motivación de los niños durante el juego, y su desempeño a lo largo de todos los desafíos propuestos. Los primeros resultados indican un alto grado de motivación y un mejor desempeño en relación al reconocimiento de las fracciones a lo largo de las jugadas.

Palabras clave: fracciones, matemática, interacción tangible, *tabletop*

Introducción

Según Dillenbourg (2016), en los últimos años la evolución de las Ciencias de la Computación ha ido diluyendo las fronteras entre el mundo digital y el mundo físico. Este autor explica que los objetos físicos o los eventos del mundo real forman, cada vez más, parte del mundo digital y al mismo tiempo, el mundo real se ha poblado de objetos digitales. Los trabajos de Ishii y Ullmer (1997) sobre interacción tangible (IT), han sido pioneros en este sentido. También Holmlquist, Redström y Ljungstrand (1999) refieren a esta situación, indican que en los últimos años una de las visiones más recurrentes del futuro de las computadoras es la de la computación ubicua, donde las computadoras dejarán el escritorio para integrarse al mundo que nos rodea. De este modo, se tienden nuevos puentes entre el mundo físico y el digital (Artola, Sanz, Pesado y Baldassarri, 2016).

En estas líneas, numerosos trabajos se han presentado tanto sobre experiencias que toman aprovechamiento de estos escenarios híbridos, como estudios teóricos que lo analizan a la luz de diferentes miradas y disciplinas (Marshall, Price y Rogers, 2003; O'Malley y Fraser, 2004; Dillenbourg y

Evans, 2011; Antle, 2013; Sanz et al., 2017).

Al mismo tiempo, la investigación y desarrollo de juegos serios con un objetivo educativo es un tema también de actualidad y estudio en el área de tecnología informática en educación. Tal como se cita en (Archuby, Sanz y Pesado, 2017), los juegos serios han demostrado mejorar la motivación de los estudiantes y enriquecer procesos educativos (Guillen-Nieto y Aleson-Carbonell, 2012).

Este artículo presenta un juego serio orientado al aprendizaje y comprensión del tema de fracciones en nivel primario. El juego se basa en interacción tangible, a partir de la utilización de objetos físicos, en este caso juguetes. La investigación se orienta a indagar las ventajas de juegos que combinen el uso de objetos físicos con aplicaciones digitales para ayudar a la comprensión de conceptos matemáticos abstractos para los niños, y al mismo tiempo, analizar aspectos de usabilidad en las interacciones combinadas (con lo físico y lo digital). También se observa la motivación a través de la dinámica planteada en las sesiones de prueba desarrolladas. De aquí en más este artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 presenta una revisión de antecedentes relacionados con experiencias de uso de interacción tangible en procesos educativos con niños y también en relación a las teorías y fundamentos en la que se enmarcan dichas experiencias; la sección 3 presenta FraccionAR, el juego serio basado en interacción tangible, desarrollado para el aprendizaje de fracciones. Luego, en la sección 4 se presentan las sesiones de prueba realizadas con FraccionAR y se describen los principales resultados.

Finalmente, en la sección 6, se detallan las conclusiones y las líneas de trabajo futuro.

Antecedentes

Son varios los trabajos que enmarcan y fundamentan el uso de la interacción tangible en procesos educativo, a partir de resaltar la importancia de las manipulaciones físicas (O'Malley y Fraser, 2004). En este sentido, Holmquist et al. (1999) afirman que hay una larga historia en el uso de objetos físicos para representar información. Algunos estudios se enfocan en el uso de interacción tangible sobre *tabletops* (superficies horizontales tipo mesa, aumentadas computacionalmente). En trabajos como el presentado por (Mazalek, Reynolds y Davenport, 2006) destacan que la disposición de los usuarios alrededor de una mesa fomenta la comunicación y la interacción humana, y favorece el contacto visual entre alumnos y educadores. En el trabajo realizado con FraccionAR se consideran tanto las manipulaciones de objetos físicos para el aprendizaje de lo abstracto, en un tema como el de fracciones, así como también la interacción alrededor de una *tabletop*. Holmquist et al. (1999), citando a Zhang y Norman (1994), afirman que las representaciones externas pueden ayudar a un mejor desempeño en la resolución de problemas y en las tareas vinculadas al razonamiento espacial.

En varios estudios se analiza a la interacción tangible a la luz de los conceptos de *embodied cognition (EC)*. Skulmowski, Pradel, Kühnert, Brunnett y Daniel (2016) afirman que el enfoque *EC* sugiere que las personas son capaces de guardar recuerdos más ricos perceptualmente cuando se trabaja con la multisensorialidad, esto es la percepción

táctil en conjunto con la visual y auditiva. En el trabajo de Pouw, van Gog, y Paas (2014), se discuten una variedad de estudios en los que se abordan manipulaciones con objetos físicos y concluyen que las experiencias multisensoriales ofrecen un alto potencial para reducir la carga cognitiva, así como para la transferencia de los aprendizajes.

También es interesante recuperar para este trabajo el concepto de *embodiment* presentado por Fishkin (2004), que refiere a la distancia relativa entre la representación física y digital y se vincula con la atención que la persona debe prestar al objeto que está manipulando y no a la herramienta que usa para la manipulación. Enuncia que cuanto mayor sea el grado de *embodiment* y más cercana la metáfora de lo que se quiere representar más tangible será el sistema. Así define *embodiment* como la distancia relativa entre la representación física y digital. Así si se incrementa el grado de *embodiment*, se disminuye la distancia cognitiva entre el mecanismo de entrada y su resultado.

Todos estos conceptos y fundamentos son citados y considerados en experiencias y juegos que han desarrollado diferentes autores en relación al aprendizaje utilizando interacción tangible, y en general, sobre *tabletops*. En la subsección que sigue se revisan algunos trabajos específicos sobre el uso de aplicaciones IT para la enseñanza de la Matemática.

Antecedentes respecto de aplicaciones IT para la enseñanza de matemática con niños

En el trabajo de Almkadi y Stephane (2015) se presenta un prototipo de

interfaz de usuario tangible para niños entre 4 y 8 años, para aprender Lenguaje y Matemática. El prototipo se utiliza para hacer una comparativa de aprendizaje cuando se utilizan bloques de juguete solamente y un sistema tangible. En las pruebas que realizaron estos autores, comprobaron que los niños que usaron el sistema tangible resolvieron los problemas más efectivamente que los que usaron los bloques de juguete solamente. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en la cantidad de problemas resueltos, pero sí mayormente en la usabilidad, el disfrute y la aceptación del sistema tangible por parte de los niños. Este trabajo es un antecedente interesante a la luz de los recorridos que marcan la multisensorialidad como un aporte beneficioso de las interfaces tangibles. Otro trabajo que destaca la importancia de la interacción multimodal es el de Müller, Oestermeier y Gerjets (2017), en el que se afirma que los objetos físicos en vinculación información digital se convierten en epítome de la interacción multimodal. Estos autores presentan “*Listening to Math: Kids compose with LEGO*”. Se trata de un juego de interfaz tangible, en el que los niños usan los ladrillos de LEGO como una representación tangible de las notas musicales para crear melodías, ensamblando los ladrillos en patrones. Al generar los patrones, poniéndolos sobre la *tabletop (LEGO Table)*, la aplicación se ocupa de ejecutar la música, sin que los estudiantes se preocupen por tener que tocar la melodía en un instrumento. Los autores presentan la relación entre la Música y la Matemática, y afirman que presentan similitudes en un nivel estructural. Muchas operaciones válidas de Matemática pueden ser aplicadas a melodías. El trabajo realizado ha permitido visibilizar estas similitudes y

las operaciones. Nuevamente en dicha investigación, se recupera la idea de volver concreto lo abstracto, en especial, en el trabajo con niños.

Girouard, Solovey, Hirshfield, Ecott, Shaer et. al. (2007), presentan un sistema tangible para enseñar matemática, en particular sobre áreas de superficies y volúmenes. Los autores afirman que la computación tangible combina lo mejor de los mundos físico y digital, ofreciendo un *feedback* a cada estudiante y aprovechando el uso de las manipulaciones físicas para el aprendizaje de conceptos abstractos. La aplicación puede utilizarse en modo de exploración para que los alumnos puedan ir ensamblando bloques sobre la *tabletop* y obteniendo información de las superficies y volúmenes que se construyen o en un modo tipo cuestionario, donde se le realizan preguntas, por ejemplo, en las que debe construir una determinada superficie/volumen utilizando los bloques, y al terminar se le ofrece un *feedback* automático.

Estas experiencias y desarrollos revisados han servido como antecedentes para el diseño e implementación de FraccionAR.

Diseño de FraccionAR

FraccionAR es un juego serio basado en IT sobre una *tabletop*. El objetivo de FraccionAR es que los alumnos comprendan el concepto de fracciones de una manera lúdica y a través de la experiencia. El diseño ha considerado las teorías descritas en la sección previa. Se basa en la creencia de que las manipulaciones físicas en conjunto con las información multimedial (visual y auditiva), propias del mundo digital, favorecen la comprensión de conceptos

abstractos, y a su vez, reducen la carga cognitiva de la interacción para concentrarse en la tarea a resolver. En el caso de FraccionAR, se aborda el tema de fracciones, y sus distintas representaciones, lo que resulta de dificultad para los alumnos de nivel primario por el nivel de abstracción que involucra. Otros aspectos de diseño que se han considerado son: la dinámica lúdica, con puntajes, *feedback* atractivos, el formato de competencia, el uso del tiempo, y la visualización del progreso de cada jugador. En relación al *feedback*, se consideró, tal como en el trabajo de Girouard et al (2007), que sirva para que cada alumno conozca su desempeño inmediatamente.

Dinámica del juego

Cada jugador cuenta con juguetes físicos que representan una pizza y un chocolate. En FraccionAR, la pizza y el chocolate se componen de diferentes porciones (un total de 6 porciones conforman la pizza entera, y un total de 8 porciones conforman un chocolate entero). A lo largo del juego, se le va solicitando a cada jugador que asocie fracciones con la cantidad adecuada de porciones de pizza o de chocolate, según corresponda.

La dinámica del juego plantea una competencia por tiempo donde 2 jugadores (que también podrían ser 2 equipos) responden a los desafíos que se le presentan en la superficie de la *tabletop* (asociaciones de porciones con la representación numérica de una fracción), sumando puntos al responder de forma correcta. Durante la partida, la superficie de la mesa se muestra dividida en 2 mitades que representan el espacio de juego de cada jugador, esto significa que cada uno interactúa en una de las áreas en forma simultánea (ver Figura 1).

En cada área aparecen los desafíos que cada uno debe resolver. Como se dijo, los desafíos consisten en asociar fracciones con objetos físicos que las representan, pudiendo existir diferentes combinaciones de porciones para la misma fracción. Los objetos con los que responden los alumnos son como los que aparecen en la Figura 2.



Figura 1 – Superficie de la mesa dividida en 2 áreas. El área de la izquierda para interactuar utilizando pizzas y el área de la derecha para interactuar utilizando chocolates

En cada desafío el jugador tiene un límite de tiempo para contestar a la consigna, y en caso de responder mal, se mantiene la consigna dando la posibilidad de volver a responder durante un período de tiempo. Además, se da la posibilidad de pasar al siguiente desafío sin responder.

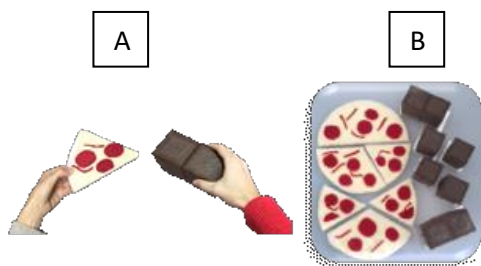


Figura 2 – A. Ejemplo de la interacción con los objetos físicos representando porciones. B. Diferentes porciones de pizzas y chocolates. En algunos casos el objeto representa 3 porciones de pizza, en otros 2 y en otros 1; de igual manera ocurre con el chocolate.

De esta forma un desafío tiene 3 escenarios posibles: 1) Se responde correctamente 2) Se alcanza el fin del

tiempo y no se logra responder de forma correcta y 3) Se pasa a la siguiente consigna. El desempeño del jugador se representa mediante un puntaje que considera la variable de tiempo y la de cantidad de intentos. El participante que suma la mayor cantidad de puntos gana. Cada área, además, muestra el progreso y desempeño de cada jugador en forma de barra en la que se indica con color rojo las consignas que quedaron sin responder correctamente, y con verde las superadas (ver Figura 3).



Figura 3 – En esta imagen se resalta con un círculo negro cómo se va marcando el progreso y desempeño de cada alumno

Al inicio del juego se muestra un vídeo con la explicación de su dinámica. El vídeo presenta un personaje que luego acompañará a los alumnos a lo largo de la partida, dando el *feedback* correspondiente.

Aspectos técnicos

FraccionAR fue desarrollado en Java 6 utilizando la biblioteca Reactivision (Kaltenbrunner y Bencina, 2007) para la detección de marcadores. Esta biblioteca utiliza el protocolo TUIO para la comunicación de eventos. Además, se utiliza como *tabletop* a VisionAR, diseñada como parte de un proyecto del III LIDI (Sanz et al., 2016). VisionAR

cuenta con una cámara de infrarrojos para la detección de patrones que se adhieren a la superficie de los objetos físicos.

Experiencias realizadas y Resultados

El juego fue presentado en dos exposiciones durante el año 2017:

1. ExpoUNLP: es un evento abierto a todo público y especialmente orientado a los jóvenes que están cursando los últimos años de la escuela secundaria. En este evento en el *stand* de la Facultad de Informática, se invitó a los visitantes a jugar libremente con FraccionAR. El evento tuvo alrededor de 12000 alumnos visitantes, de escuelas de la región¹.
2. Expo Ciencia y Tecnología: se trata de una propuesta para compartir con la comunidad los distintos trabajos de Investigación, Desarrollo e Innovación que llevan a cabo tanto alumnos como docentes-investigadores de la Facultad de Informática.

En ambos eventos FraccionAR se presentó como un espacio de juego e interacción por parte de alumnos de diferentes niveles educativos y visitantes en general. Ambas experiencias permitieron revisar cuestiones de usabilidad, y visibilizar la dificultad que presenta el tema de fracciones, aún en adultos, y estudiantes de nivel universitario. Se observó que en situaciones donde el denominador de la fracción presentada, se correspondía con

el número de porciones que componía el total, los diferentes usuarios respondía correctamente, pero cuando el denominador cambiaba (ejemplo $\frac{2}{3}$ de pizza cuando la pizza entera tenía 6 porciones), se incrementaba la cantidad de intentos de respuesta.

Todas las observaciones y dificultades se conformaron en un informe que permitió planificar la primera sesión formal con niños de escuela primaria.

Sesión con niños y resultados

Al momento se desarrolló una única sesión con 3 niños de entre 8 y 9 años de edad. Los alumnos de cuarto grado de nivel primario, aún no habían trabajado el tema fracciones en la escuela. Los tres niños eran compañeros del mismo curso.

La sesión tuvo como objeto evaluar aspectos de usabilidad, motivación y aprendizaje. Se usaron como técnicas: la observación participante por parte de 2 de los investigadores y una entrevista posterior con cada niño. Se inició la sesión con una breve explicación del concepto de fracciones, utilizando los mismos juguetes que después se utilizaron en FraccionAR.

En relación a la usabilidad, durante la entrevista, se les consultó sobre el uso de los objetos (juguetes representando las porciones), y si les había gustado utilizarlos o hubieran preferido utilizar solo el *touch* sobre objetos digitales para resolver lo pedido. Los 3 niños argumentaron que les gustó jugar con los objetos y “el juego sobre la mesa”. Uno de ellos, manifestó que lo “sorprendió” poder jugar así con objetos y que la mesa sea interactiva. Cuando se les consultó sobre si habían prestado atención al reloj

¹ ExpoUNLP:
https://unlp.edu.ar/expo_universidad

que aparecía en la superficie de la mesa indicando el tiempo que le restaba para responder la pregunta, dos de ellos indicaron que sí. Comentaron que lo miraban pero que se desconcentraban de lo que debían responder si le prestaban “muchísima atención”. Pero indicaron que les gustaba tener el reloj y que haya tiempos para que sea “más competitivo”. También se les consultó sobre el *feedback*. En los tres casos prestaban atención a cómo habían contestado (*feedback* de bien hecho o de respuesta incorrecta). Además indicaron que les gustaría que haya “algún sonido” en el *feedback*. También manifestaron que revisaban la barra de progreso, pero “no mucho para no distraerse”.

En relación a si sentían que habían aprendido qué eran las fracciones, todos indicaron que sí, que eran porciones o partes de un todo (asociándolo con los objetos del juego). A partir de las observaciones se pudo ver que inicialmente los alumnos requerían mayor asistencia en la relación entre la representación de la fracción y la asociación con las fracciones. A lo largo de las jugadas, los alumnos fueron progresando y mostrando notoria autonomía en las respuestas.

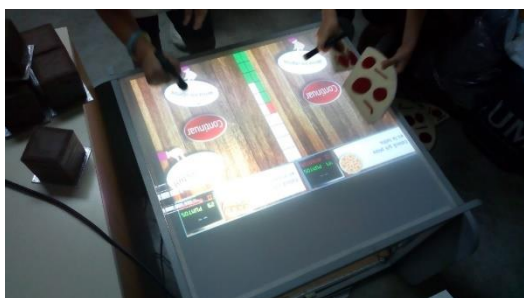


Figura 4 – Imagen tomada en la sesión con alumnos, donde se ve a dos de ellos jugando con FraccionAR

Finalmente, en términos de la motivación, todos manifestaron que les pareció muy divertido, que querían volver a jugar, que los invitáramos

nuevamente. Además, los alumnos quisieron jugar sucesivamente. La sesión planificada en 40 minutos, se prolongó a partir de la solicitud de múltiples jugadas, y los torneos que se organizaron los niños entre ellos, espontáneamente. Como un aspecto positivo, otros compañeros de los niños solicitaron ser invitados también a participar.

Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se ha presentado FraccionAR, un juego de interacción tangible sobre una *tabletop* para el aprendizaje de fracciones. La sesión realizada y la presentación del juego en las exposiciones han permitido vislumbrar una serie de conclusiones aún parciales. A continuación se mencionan las principales conclusiones:

- La combinación de objetos físicos como representación de información en conjunto con la información digital ha despertado el interés de todos los públicos que han jugado con FraccionAR. En todos los casos se han mostrado atraídos y sorprendidos por estas combinaciones.
- La mesa interactiva ha funcionado de forma natural como espacio de juego.
- Los elementos digitales que muestran el tiempo y el progreso han sido valorados positivamente por los niños como aspectos que hacen a la competencia.
- El progreso de los alumnos en la comprensión del concepto de fracciones y sus representaciones ha ido evolucionando positivamente desde el inicio hasta el final de la sesión.

Como se dijo los resultados son parciales, dado que aún falta desarrollar sesiones. Se avanzará en este sentido, y se buscará trabajar en mayor profundidad sobre la hipótesis del trabajo combinado de objetos físicos y virtuales aporta a la comprensión del tema.

Referencias

- Almukadi, W., y Stephane, A. (2015). BlackBlocks: Tangible Interactive System for Children to Learn 3-Letter Words and Basic Math. *Proceedings of the 2015 International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces - ITS '15*.
- Antle, A. N. (2013). Research opportunities: Embodied child-computer interaction. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 1(1), 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2012.08.001>
- Archuby, F., Sanz, C., y Pesado, P. (2017). Desafiate: juego serio para la autoevaluación de los alumnos y su integración con un entorno virtual de enseñanza y aprendizaje. XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. ISBN: 978-950-34-1539-9, 284- 294.
- Artola, V., Sanz, C. Pesado, P. y Baldassarri, S. (2016). ITCol. Tangible Interaction for Collaboration: Experiments Carried Out," *2016 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, Orlando, FL, 2016, pp. 172-179. doi: 10.1109/CTS.2016.0046
- Dillenbourg, P. (2016). The Evolution of Research on Digital Education. *International Artificial Intelligence in Education Society*. Springer. DOI: 10.1007/s40593-016-0106-z
- Dillenbourg P. y Evans M. (2011). Interactive tabletops in education. *International Journal of Computer - Supported Collaborative Learning* 6(4), 491- 514.
- Fishkin (2004) A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*. Vol: 8 (5) pp: 347-358.
- Girouard, A., Solovey, E., Hirshfield, L., Ecott, S., Shaer, O., Jacob, R. (2007). Smart Blocks: a tangible mathematical manipulative. *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*. Pp.: 183-186.
- Guillen-Nieto, V.,y Aleson-Carbonell, M. (2012). Serious games and learning effectiveness: The case of it's a deal! *Computers & Education*, 58 (1), 435 - 448. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.comp.edu.2011.07.015>
- Holmquist, L.E., Redström, J., Ljungstrand, P. (1999) Token-Based Access to Digital Information. In: Gellersen HW. (eds) Handheld and Ubiquitous Computing. HUC 1999. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 1707. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ishii H. & Ullmer B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 241).
- Kaltenbrunner, M., y Bencina, R. (2007). ReactIVision: A computer-vision framework for table-based tangible interaction. *Proceedings of the 1st international Conference on Tangible and*

- Embedded interaction*. TEI '07, pp. 69-74. Louisiana, Estados Unidos.
- Marshall, P., Price, S., y Rogers, Y. (2003). Conceptualising tangibles to support learning. Conference on interaction Design and Children. IDC '03.
- Mazalek, A., Reynolds, M. y Davenport, G. (2006). TViews: An Extensible Architecture for Multiuser Digital Media Tables, *Computer Graphics and Applications*. *Journal IEEE*, 26(5): 47-55. doi: 10.1109/MCG.2006.117.
- Müller, J., Oestermeier, U. y Gerjets, P. (2017). Multimodal interaction in classrooms: implementation of tangibles in integrated music and math lessons. *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Multimodal Interaction (ICMI 2017)*. ACM, New York, NY, USA, 487-488. DOI: <https://doi.org/10.1145/3136755.3143018>.
- O'Malley, C y Fraser, D.S. (2004). *Literature Review in Learning with Tangible Technologies*. NESTA Futurelab
- Sanz, C., Artola, V., Guisen, A., Marco, J., Cerezo, E., y Baldassarri, S. (2017). Shortages and challenges in augmentative communication through tangible interaction using a user-centered design and assessment process. *Journal of Universal Computer Science*, 23(10).
- Skulmowski, A., Pradel, S., Kühnert, T., Brunnett, G., y Daniel, G. (2016). Embodied learning using a tangible user interface: The effects of haptic perception and selective pointing on a spatial learning task. *Computers & Education*, 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.10.011>
- Pouw, W. T. J. L., Van Gog, T., Y Paas, F. (2014). An embedded and embodied cognition review of instructional manipulatives. *Educ. Psychol. Rev.* 26 51-72. 10.1007/s10648-014-9255-5
- Zhang, J. y Norman, D. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*. Vol: 18 (1) pp: 87-122