

# Diseño de una instalación interactiva destinada a enseñar conceptos abstractos.

Anna Carreras, Narcís Parés

Grupo de Experimentación en Comunicación interactiva (EiC)  
Instituto del Audiovisual, Universidad Pompeu Fabra  
Passeig Circumvalació nº8, 08003 Barcelona, España  
{acarreras,npares}@iua.upf.edu

## Resumen

El uso de nuevas tecnologías en proyectos de educación informal se centra mayoritariamente en el desarrollo de aplicaciones interactivas que tratan conocimientos específicos del currículo escolar. Otras aplicaciones plantean fomentar capacidades concretas más transversales: ya sean sociales, cognitivas, físicas, etc. En este artículo proponemos que la interacción posee también gran potencial para promover el aprendizaje de conceptos e ideas abstractos, como por ejemplo, aprender cómo se estructura la ciencia y el conocimiento. Este objetivo se alcanza, a través del *diseño dirigido por interacción*, es decir, diseñando actitudes específicas de usuario en la experiencia interactiva. Describimos los pasos seguidos en el diseño conceptual y en el diseño de la interacción de una instalación colaborativa para jóvenes de 14 a 18 años de edad situada en un museo. Esta instalación explora cómo extender, a través de la propia interacción, el aprendizaje informal hacia el aprendizaje de ideas abstractas.

## 1. Introducción

El desarrollo de proyectos para el aprendizaje informal en museos, centros culturales y galerías ha crecido cuantiosamente en los últimos años [7] [22]. Basándose en la idea que una participación más activa promueve el aprendizaje y en la idea que tecnologías como la realidad virtual presentan varias ventajas para la educación [27] se han desarrollado múltiples proyectos para examinar nuevas dinámicas y formas de aprendizaje del temario del currículo escolar, especialmente, ciencias, matemáticas, ingeniería y narrativa [9][24][25][8].

En estos casos la interacción se usa para transmitir un contenido temático concreto. Los esfuerzos por entender cómo las aplicaciones

interactivas y la propia interacción pueden potenciar el aprendizaje de niños y niñas se centra en la utilización de nuevas plataformas y en la adecuación del temario curricular al uso de nuevas tecnologías.

En contraste, en este artículo presentamos un proyecto en el que exploramos de qué forma la interacción, en una experiencia interactiva colaborativa, puede transmitir ideas abstractas genéricas. El aprendizaje colaborativo presenta ciertas ventajas en este sentido ya que fomenta precisamente algunos aspectos comunicativos [1][3][10]. Así pues, entender la interacción y sus propiedades como medio de comunicación debe facilitar diseñar experiencias de aprendizaje más motivadoras, ayudar a decidir cuando la interacción es útil para la enseñanza y cuando su uso está justificado [4]. Asimismo es importante estudiar la interacción considerando “cómo las acciones físicas y la actividad del usuario pueden convertirse en una parte más integral de sus actividades cognitivas” [18].

Recientemente, a través de espacios de realidad aumentada y mixta, diversos proyectos han tratado de analizar cómo enlazar las acciones físicas de los usuarios con la interacción. Las tecnologías inalámbricas y móviles se han usado ampliamente para combinar los movimientos físicos, gestos o posición del usuario con procesos cognitivos de orden superior como explorar, planificar, toma de decisiones, reflexión y razonamiento [18][11][6][13]. Las interfaces tangibles proponen otra aproximación diferente para vincular las acciones físicas del usuario con el aprendizaje informal a partir de actividades que requieren manipulación directa del usuario [15] [21][28].

En comparación con el estado del arte descrito, en este artículo presentamos “Connexions”, una instalación interactiva, de cuerpo entero, situada en un museo. Su diseño se

basa en recientes teorías de aprendizaje informal que guían el desarrollo de entornos interactivos [2] y en la experiencia obtenida en un proyecto previo [16]. En esta instalación las acciones y actitudes de cuerpo entero de los usuarios se diseñan para ayudarles a entender que la ciencia es una red de conocimiento en la que la cooperación entre científicos de diferentes campos es esencial para su evolución. Este objetivo se consigue:

- Proponiendo un juego a los usuarios en el cual deban realizar unas acciones (conectarse físicamente entre ellos) que les hagan vivir y experimentar el concepto a transmitirles.
- Entendiendo “el aprendizaje como un proceso de continua motivación a través de experiencias que promueven diversas actitudes, conductas y acciones” [7].

## 2. Contexto

Aprovechando la oportunidad que ofrecen los museos de usar nuevos enfoques pedagógicos [26][22][20] “Connexions” fue concebido para el Museo de la Ciencia de Barcelona, “CosmoCaixa” [14].

### 2.1. El museo

La principal idea que guía la museología de “CosmoCaixa” es mostrar a los visitantes que todas las áreas del conocimiento científico están relacionadas. Por ello experimentos, piezas reales y seres vivos se encuentran juntos en una sola exposición situada en una gran sala (3500 m<sup>2</sup>) llamada “Sala de la Materia” [14]. Esta sala se estructura en cuatro áreas que muestran la evolución de la materia desde el inicio del Universo:

- Materia Inerte: p.ej. radiaciones y ondas, óptica, fluidos, incertidumbre;
- Materia Viva: p.ej. genes y genética, la célula, los primeros ecosistemas;
- Materia Inteligente: p.ej. la neurona, percepción;
- Materia Civilizada: p.ej. herramientas, el fuego, autoconciencia, inventar la materia.

Este enfoque contrasta con el aplicado en el pasado por los museos de ciencia tradicionales basado en dividir el museo en compartimentos o salas aisladas (p.ej. mecánica, óptica, fluidos, etc.). “CosmoCaixa” selecciona objetos concretos (p.ej. un fósil, un meteorito, un cerebro, un pez vivo, etc.) a partir de los cuales guía al visitante de un campo a otro, adentrándole hacia el conocimiento científico. Cada objeto puede explicarse y entenderse desde diversas áreas científicas relacionadas con él. A partir de interesar al visitante en el objeto el museo quiere interesarle también en los conceptos científicos asociados e introducirle en varias áreas de conocimiento, ver mitad inferior de la Figura 1: enfoque museológico.

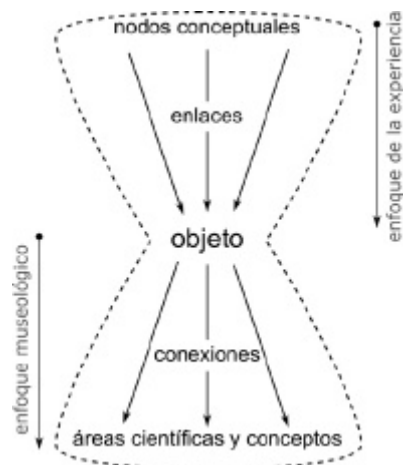


Figura 1. Enfoque museológico de “CosmoCaixa” y enfoque de la experiencia interactiva.

### 2.2. Marco de la instalación: framework

El objetivo de “Connexions” es transmitir a los usuarios la noción que la ciencia es una red de conocimiento resaltando la idea que las diferentes áreas científicas no son compartimentos aislados. Inicialmente se propone a los usuarios explorar diversos conceptos científicos para descubrir cómo se relacionan. Es decir, la experiencia empieza a partir de conceptos científicos para descubrir, a través de diversos enlaces, un objeto virtual relacionado con ellos, ver mitad superior de la Figura 1: enfoque de la experiencia. Este

objeto virtual representa un objeto real de los que se pueden encontrar en el museo.

El equipo pedagógico del museo ha definido los objetos y los conceptos científicos que se muestran en la experiencia.

### 3. Formato de la instalación y mecánica del juego

“Connexions”, es una instalación interactiva de cuerpo entero para jóvenes de 14 a 18 años de edad.

Una malla de nodos se proyecta en el suelo haciendo las funciones de gran pantalla (5m x 3.8m), ver Figura 2. Entre siete y once nodos aparecen simultáneamente resaltados en la malla. Cada uno está etiquetados con un concepto científico. Varios de los nodos resaltados están relacionados entre ellos haciendo referencia a un objeto específico del museo, mientras que los nodos restantes no hacen referencia alguna al objeto.

Por ejemplo, los conceptos “atmósfera”, “fusión”, “turbulencia”, “trayectoria”, “origen del sistema solar” y “piedra extraterrestre”, hacen referencia a un “meteorito” que se encuentra en la sala del museo. Estos conceptos aparecen en los paneles informativos que acompañan al “meteorito” dónde se explica qué relación presentan con él. Los conceptos anteriores están mezclados con dos conceptos más: “genes” y “flotabilidad” que no se refieren al meteorito.

Desplazándose por el espacio los usuarios pueden explorar la malla de nodos. Al situarse encima de un nodo etiquetado que esté relacionado con el objeto este nodo se activa. Se colorea, mostrando que el concepto asociado al

nodo está relacionado con otros nodos y con el objeto que esconden, ver Figura 2(a). Los nodos que no hacen referencia al objeto no pueden ser activados por los usuarios; no cambian su color. Estos nodos han sido introducidos para promover la exploración del espacio, añadiendo un poco de dificultad al juego.

Cada usuario situado sobre un nodo activo debe enlazarlo con los otros nodos. Los usuarios pueden hacer crecer enlaces que salen de sus nodos activos hasta conectar con los otros nodos. Estos enlaces no son visibles en la malla de fondo y los usuarios deben descubrirlos. Esto pueden conseguirlo extendiendo piernas y brazos, cogiendo de las manos a otros usuarios, etc., ver Figura 2(b). Cuando los usuarios extienden el cuerpo a lo largo de los enlaces que unen los nodos estos enlaces también se colorean.

El objetivo es que los usuarios unan todos los nodos activos mediante conexiones coloreadas. No es necesario enlazar los nodos en ningún orden específico ni enlazarlos todos. Aunque todos los nodos activos están relacionados entre sí, el grafo completo de enlaces obtenido sería demasiado denso sobre el espacio de interacción. Esto dificultaría la correcta observación de las imágenes por parte de los usuarios y una buena interacción. Los enlaces entre nodos han sido elegidos para evitar choques y permitir una buena distribución de los usuarios en el área de juego. Entre 8 y 15 participantes son necesarios para activar y enlazar los nodos de cada experiencia.

Cuando todos los nodos que hacen referencia al objeto escondido se enlazan, una imagen 3D del objeto aparece rotando en el centro del espacio para poderlo ver desde todos sus costados, ver Figura 2(c).

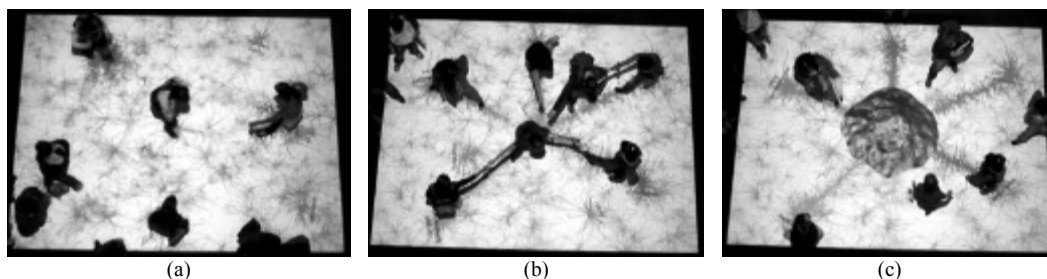


Figura 2. Mecánica del juego: (a) los usuarios activan, colorean, los nodos situándose encima de ellos, (b) los participantes conectan los nodos activados enlazándose físicamente entre ellos, (c) un objeto (en este caso un meteorito) aparece cuando los usuarios conectan todos los nodos que hacen referencia al objeto.

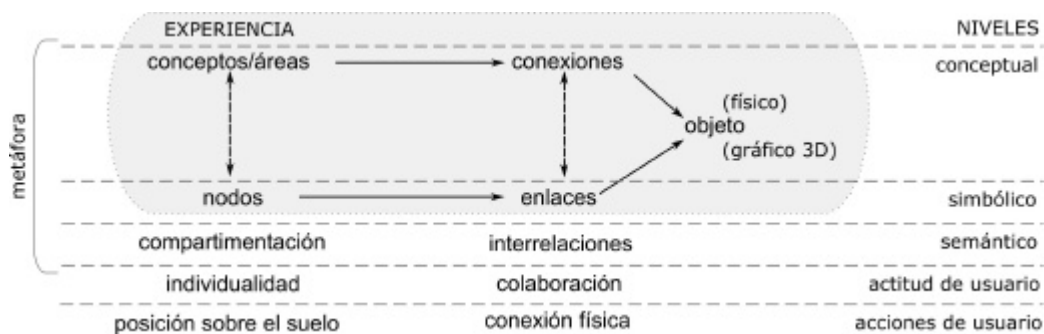


Figura 3. Modelo de las relaciones y niveles que basan el diseño de la interacción (leer el texto para más detalle).

Pasado un tiempo, la malla, los nodos, los enlaces y el objeto desaparecen para dar lugar a un nuevo juego con nuevos nodos, enlaces y un nuevo objeto oculto. Un nuevo grupo de usuarios puede participar en la nueva experiencia.

Se han diseñado 16 juegos diferentes que esconden 16 objetos del museo. Cada juego presenta una distribución distinta de los nodos sobre la malla de fondo. Los enlaces entre nodos son también diferentes en cada juego. Por tanto, cada juego requiere que los usuarios se sitúen de forma diferente y que enlacen los nodos de una nueva forma. El equipo pedagógico del museo ha elegido los objetos escondidos, los conceptos relacionados con cada uno y los enlaces establecidos entre los conceptos de cada juego.

#### 4. Diseño de la interacción

En “Connexions” las acciones del usuario centran el diseño de la experiencia y el significado se genera haciendo que los usuarios lo experimenten a través de sus acciones. Por estas razones, decidimos aplicar la estrategia de diseño dirigida por la interacción, en que se parte del diseño de las acciones que deben realizar los usuarios y se pone el acento en la relación entre la mecánica de la interacción y las ideas a transmitir, [17].

En el modelo de la Figura 3 pueden verse los dos puntos claves (*conceptos/áreas* y *conexiones*) que se extraen de la idea a transmitir y la relación que se establece, a partir de ellos, con los elementos del juego interactivo en varios niveles: simbólico, semántico, etc. Este modelo ha guiado el diseño de la interacción.

#### 4.1. Relación Conceptual-Semántica

“Connexions” quiere transmitir a los usuarios la idea que las *conexiones* entre diferentes *áreas* y *conceptos científicos* crean conocimiento y ciencia. De esta idea, que se sitúa en el nivel conceptual, se extraen dos puntos claves para guiar el diseño de la interacción: las *áreas* y *conceptos científicos* y las *conexiones*.

Los diferentes *conceptos* y *áreas* del conocimiento científico representan la *compartimentación* de la ciencia. Mientras que las *conexiones* (de estos conceptos y áreas) representan las *interrelaciones* entre estos compartimentos de la ciencia. El nivel semántico recoge estos dos significados: la *compartimentación* y las *interrelaciones*.

#### 4.2. Relación Semántica-Simbólica: la metáfora

Para representar en la respuesta visual de la experiencia la *compartimentación* de la ciencia y las *interrelaciones* que existen en ella se usan en “Connexions” dos representaciones: los *nodos* y los *enlaces*, respectivamente.

Estos dos elementos forman parte de la malla de fondo del juego que exploran los usuarios. Esta red o malla de conexiones es la metáfora principal de “Connexions”. A través de la metáfora se relacionan los elementos del nivel simbólico – que tendrán una representación visual en la experiencia en forma de *nodos* y *enlaces* – con los elementos del nivel semántico.

La metáfora elegida representa gran diversidad de sistemas con dinámicas de funcionamiento parecidas, sistemas que establecen

relaciones o conexiones entre sus unidades elementales: p.ej. el intercambio de datos a través de nodos de Internet, el intercambio de impulsos nerviosos entre neuronas, la interacción entre personas que conforman una sociedad, el funcionamiento de los ecosistemas a partir de sus individuos o la evolución de conocimiento científico. No obstante, en “Connexions” no hemos querido usar ninguno de estos ejemplos para la visualización y se ha buscado una apariencia lo más neutra posible.

La metáfora engloba perfectamente los dos elementos simbólicos (*nodos* y *enlaces*) elegidos para representar la *compartimentación* y las *interrelaciones* de la ciencia. Por otro lado, encaja perfectamente en un museo con gran diversidad de experimentos como es “CosmoCaixa”.

#### 4.3. Una actitud de usuario para cada elemento simbólico y semántico

Este es el punto central de nuestra investigación: diseñar actitudes de usuario que generen y permitan percibir y experimentar la semántica de la experiencia, al mismo tiempo que conseguir una interacción natural y participativa.

La interacción, la mecánica del juego, se diseña para que a lo largo de la experiencia los usuarios participantes deban tomar dos actitudes. Los usuarios actúan individualmente (actitud de *individualidad*) cuando representan un *nodo*, es decir lo activan. Del mismo modo, los usuarios muestran una actitud *colaborativa* cuando crean los *enlaces* de la malla de juego.

Estas dos actitudes conllevan una implicación a nivel de generación de significado que se describen en la Sección 5.

#### 4.4. Acciones de usuario: promover una actitud de usuario

Para promover que los usuarios adopten las actitudes descritas se diseña una dinámica de juego que requiere ciertas acciones. En nuestro caso, un usuario debe moverse inicialmente explorando el espacio. Su posición sobre el suelo determina la entrada del sistema y cuando el usuario se sitúa sobre un nodo lo activa. Esta primera fase del juego consiste en acciones individuales, puesto que cada usuario explora individualmente el área de juego y activa

únicamente un nodo. Posteriormente, los usuarios se conectan unos con otros físicamente, se unen, para activar los enlaces entre nodos. Por lo tanto, para enlazar los nodos activos se requiere colaboración entre los usuarios.

La dinámica de juego diseñada promueve las dos actitudes de usuario, *individualidad* y *colaboración* posterior, al pedir a los participantes que se *posicionen en el suelo* sobre los nodos inicialmente y que se *conecten físicamente* entre ellos para enlazarlos.

### 5. Generación de significado

Finalmente, puede verse de qué forma la mecánica del juego enlaza con los dos puntos claves del nivel conceptual: los *conceptos* y *áreas científicas* y las *conexiones* (de estos conceptos y áreas), ver modelo de la Figura 3.

La mecánica del juego, las acciones que deben realizar los usuarios para descubrir el objeto virtual que esconde el juego, promueven dos actitudes: *individualidad* y *colaboración*. Individualmente los usuarios activan los *nodos* que representan los *compartimentos* de la ciencia. Análogamente, los usuarios enlazan los nodos al colaborar experimentando las *interrelaciones* entre las áreas de la ciencia. Además, esta colaboración ejemplifica directamente la colaboración entre científicos para encontrar nuevas relaciones entre conocimientos, nuevos descubrimientos, ver Figura 4.

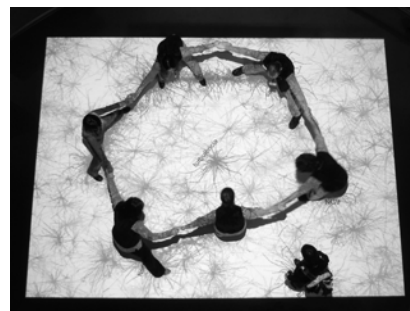


Figura 4. Los usuarios enlazan los nodos al colaborar entre ellos experimentando las *interrelaciones* que existen en la ciencia.

Las acciones y actitudes de usuario centran el diseño de modo que la interacción de cuerpo

entero genere el significado deseado a transmitir. De la mecánica del juego emergen los elementos del juego, *nodos* y *enlaces*, y la respuesta visual del juego, la metáfora: una malla de conexiones.

## 6. Tecnología usada

“Connexions” incorpora un sistema de visión artificial que consiste en una cámara situada cenitalmente encima del área de juego, a 9m de altura. La captura se realiza en el rango del infrarrojo, para ello la cámara está provista de un filtro y se ilumina a los usuarios con luz infrarroja. Junto a la cámara se encuentra el proyector que genera la respuesta visual del juego.

El sistema está programado en C++ e integra las librerías de la propia cámara, para la captura de la imagen; las librerías OpenCV, para el procesado de imagen; y las librerías OpenGL para la generación de la respuesta visual.

La posición del usuario sobre el suelo determina la activación de los nodos del juego y la información sobre la situación de su cuerpo sobre la malla de fondo, y el área que ocupa, se usa para colorear los enlaces entre nodos.

Toda la información de cada uno de los 16 juegos (la lista de conceptos, la posición de los nodos y el objeto escondido) se guarda en un fichero de texto que el sistema carga al iniciarse. De esta forma, el sistema puede ampliarse, añadiendo nuevos juegos, o variar los existentes de manera muy sencilla editando este fichero.

## 7. Resultados

Cuando aparece el objeto virtual, los usuarios pueden reflexionar sobre las relaciones establecidas:

- Entre el objeto y los conceptos en los nodos activados y enlazados.
- Entre su actividad durante la interacción y los resultados obtenidos.

En el primer caso, pueden ir a buscar el objeto real en el museo para entender mejor las relaciones entre el objeto y los conceptos científicos que etiquetaban los nodos activos. En los paneles informativos que acompañan al objeto pueden encontrar y entender la relación que les une. En el segundo caso, los usuarios pueden

reflexionar sobre cómo sus acciones durante el juego interactivo representan la ciencia.

Las mínimas nociones que queremos proveer a los jóvenes que pasan por la experiencia son:

- Interesarles en las relaciones que esconde el objeto con varios conceptos científicos para motivarles a explorar el museo y sus contenidos.
- Hacerles experimentar la conexión entre ámbitos del conocimiento que estructura la ciencia.

Estos objetivos deben ser todavía validados o refutados. Con este fin, se está llevando a cabo la recogida de datos a partir de encuestas cerradas. Actualmente se han encuestado unos 70 usuarios que responden a un cuestionario al llegar al museo y otro al terminar de jugar en la instalación. Simultáneamente también se está encuestando a grupos que visitan el museo sin pasar por la instalación, como grupos de control.

Las encuestas preguntan a los usuarios de “Connexions” sobre su visión de la ciencia para deducir qué grado de conectividad le atribuyen. Se les pide, por ejemplo, que valoren (entre 1 y 5) como influye la colaboración con otros investigadores o el hecho de establecer fronteras entre disciplinas en el hallazgo de un descubrimiento científico. Actualmente los resultados muestran que los participantes valoran más positivamente la colaboración entre investigadores y más negativamente el establecimiento de fronteras después de pasar por la instalación.

A partir del inicio del curso que viene se encuestará a más usuarios. La instalación se validará en función de los resultados de las encuestas y en base a diferentes frameworks:

1. La taxonomía propuesta por Malone y Lepper para juegos de aprendizaje [12].
2. Los criterios para un buen software educativo interactivo propuestos por Reichert y Hartmann [19].
3. El marco propuesto por Gammon para verificar el aprendizaje en museos como experiencia educativa [5].
4. Y, el análisis del aprendizaje (la eficacia educativa de las experiencias de realidad virtual) de Roussou et al [23].

## 8. Conclusiones

La instalación se usa para cerrar un taller sobre interactividad que realizan grupos, de 20 a 30 adolescentes, que visitan el museo como actividad escolar. El objetivo del taller es transmitir conceptos elementales sobre interacción: interfaz, usabilidad, modelo mental, etc. para formar un espíritu crítico en los adolescentes sobre las aplicaciones interactivas.

Unos monitores, habitualmente dos, guían por el museo a los grupos, realizan el taller y lo concluyen con la experiencia en “Connexions”. Hemos recibido muy buenas opiniones y comentarios de los monitores y de los profesores de los grupos de escolares. A partir de estas opiniones, de observaciones realizadas y de las respuestas recogidas en las encuestas podemos identificar varias ventajas y propiedades interesantes de la interacción diseñada:

- **Naturalidad:** se ha conseguido usando un sistema de visión artificial para detectar las acciones de cuerpo entero de los usuarios. Este sistema es no invasivo, evita que los usuarios tengan que llevar sensores, cables, marcadores, etc. y permite la interacción sin ningún elemento a manipular: ni botones, ni ratones, etc. Esto facilita la accesibilidad de la instalación por parte de todo tipo de público y añade naturalidad.
- **Multiusuario:** para conseguir el objetivo del juego (descubrir el objeto escondido en la malla de nodos y enlaces) deben participar en la experiencia entre 8 y 15 usuarios simultáneamente.
- **Participativa:** los usuarios interactúan entre ellos para jugar en la experiencia: se conectan físicamente, se unen, se dan indicaciones, se ayudan, etc. para jugar. Y se preguntan y analizan juntos porqué se activan unos nodos y otros no, qué objeto esconden, etc. “Connexions” promueve la participación, la exploración y la reflexión.
- **Colaborativa:** la mecánica del juego diseñada pide a los participantes que colaboren entre ellos para un objetivo común (descubrir el objeto escondido), ver Figura 4 y Figura 5.

Como inconveniente menor debemos mencionar que al etiquetar los nodos mediante texto escrito se impone una limitación sobre los usuarios que pueden aproximarse y participar en la instalación. Esto es debido a que no es viable mezclar idiomas en una misma sesión de juego. Sin embargo, por el momento los únicos participantes son alumnos de escuelas catalanas, por esta razón los nodos están etiquetados en catalán, lo que no supone tal limitación en este contexto.



(a)



(b)

Figura 5. Dos vistas; (a) perspectiva, (b) cenital; de los participantes de la experiencia colaborando para conectarse juntos.

Nuestra principal conclusión es que para diseñar experiencias con las que se quiere transmitir significado una buena aproximación es centrarse en la relación entre los diferentes niveles de la experiencia: enlazando las acciones de los usuarios y sus actitudes con los conceptos e ideas a transmitir. Esta estrategia de diseño dirigida por la interacción consigue que los usuarios experimenten los conceptos e ideas a partir de su propia interacción.

El modelo de la Figura 3 pasa a ser un framework de diseño de la interacción para futuras experiencias. Los niveles definidos (parte derecha de la Figura 3) resultan un excelente soporte, marco referencial y guía para los pasos de la estrategia de diseño dirigida por la interacción. Este framework refuerza un diseño coherente de la aplicación en los casos en que no se parte de un contenido concreto sino de unos conceptos abstractos.

Este enfoque de diseño de experiencias interactivas debe ser investigado más ampliamente en aplicaciones de aprendizaje informal para entender la interacción y sus propiedades y descubrir el potencial pedagógico y comunicativo que presenta.

### Agradecimientos

Agradecemos a “CosmoCaixa” y muy especialmente a su equipo pedagógico la confianza y el apoyo que han mostrado en este proyecto.

### Referencias

- [1] Benford, S., Bederson, B., Akesson, K., Bayon, V., Druin, D., Hansson, P., Hourcade, J., Ingram, R., Neale, H., O'Malley, C., Simsarian, K., Stanton, D., Sundblad, Y., Taxen, G. Designing Storytelling Technologies to Encourage Collaboration Between Young Children. In Proceedings of CHI'00 (The Hague, NL, 2000)
- [2] Davies, C., Hayward, G., and Lukman, L. 14-19 and Digital Technologies: A review of research and projects. Futurelab Literature reviews, 2004
- [3] Dede, C. The evolution of constructivist learning environments: Immersion in distributed, virtual worlds In Educational Technology, 35 (5), 46-52, 1995.
- [4] Druin, A., and Inkpen, K. When are Personal Technologies for Children? In Personal and Ubiquitous Computing 5(3) 191-194, 2001.
- [5] Gammon, B. Assessing learning in museum environments: A practical guide for museum evaluators. Unpublished Science Museum London report, 2001.
- [6] Halloran, J., Hornecker, E., Fitzpatrick, G., Weal, M., Millard, D., Michaelides, D., Cruickshank, D. and De Roure, D. The literacy fieldtrip: using ubicomp to support children's creative writing. in Proceedings of IDC'06 (Finland, June 2006). ACM Press 17-24.
- [7] Hawkey, R. Learning with Digital Technologies in Museums, Science Centres and Galleries. Futurelab Literature reviews, 2004.
- [8] Johnson, A., Moher, T., Ohlsson, S., and Gillingham, M. Bridging strategies for VR-based learning. In Proceedings of CHI'99 (Pittsburgh, US. 1999). ACM Press 536-543.
- [9] Johnson, A., Roussos, M., Leigh, J., Vasilakis, C., Barnes, C., and Moher, T. The NICE project: learning together in a virtual world. Proceedings IEEE of the Virtual Reality Annual International Symposium, 1998.
- [10] Johnson, D.W., Johnson, R.T. An overview of Cooperative Learning. Brookes Press, Baltimore, 1994.
- [11] Facer, K., Joiner, R., Stanton, D., Reid, J., Hull, R., and Kirk, D. Savannah: Mobile Gaming and Learning? Journal of Computer Assisted Learning 399-409, 2004.
- [12] Malone, T. W., Lepper, M. R. Making Learning Fun: A Taxonomy of Intrinsic Motivations for Learning. In Aptitude, Learning and Instruction: III Conative and affective process analyses. Snow and Farr Eds., 223-253, 1987.
- [13] Martínez, M.I., Ortega, M. Aprendizaje colaborativo a través de guías móviles. Actas del Congreso Interacción 2006.
- [14] Museo de la Ciencia de Barcelona, “CosmoCaixa”, página web: [http://obrasocial.lacaixa.es/centros/cosmocaixabcn\\_es.html](http://obrasocial.lacaixa.es/centros/cosmocaixabcn_es.html) (visitado por última vez en Mayo 2007)
- [15] Papert, S. Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas. Basic Books, 1980.
- [16] Parés, N., Carreras, A., Durany, J. Generating meaning through interaction in a refreshing interactive water installation for children. In Proceedings of IDC'05. (Boulder, CO. June 2005). ACM Press.
- [17] Parés, N., Parés, R. Interaction-driven virtual reality application design. A particular case: El Ball del Fanalet or Lightpools. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. (2001). MIT Press, vol 10.2. 236-245.



- [18] Price, S., Rogers, Y. Let's get physical: the learning benefits of interacting in digitally-augmented physical spaces. *Computers & Education*, v.43,137-151, 2004.
- [19] Reichert, R., Hartmann, W. On the Learning in E-Learning. In *Proceedings of EDMEDIA'04*. AACE Digital Library, 2004.
- [20] Resnick, M. Edutainment? No thanks. I prefer playful learning. *Associazione Civita*, vol.1,2-4, 2004.
- [21] Resnick, M. Berg, R., Eisenberg, M. Beyond Black Boxes: Bringing Transparency and Aesthetics Back to Scientific Investigation. *Journal of the Learning Sciences*, 2000.
- [22] Roussou, M. Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education. In *Proceedings of User Interfaces for All: Interactive Learning Environments for Children*. (Athens, February 2000).
- [23] Roussou, M., Johnson, A., Moher, T., Leigh, J., Vasilakis, C., and Barnes, C. Learning and Building Together in an Immersive Virtual World. In *Presence special issue on Virtual Environments and Learning* MIT Press, 1999.
- [24] Salzman, M. C., Dede, C., and Loftin, B. ScienceSpace: Virtual realities for learning complex and abstract scientific concepts. In *Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium'96*. IEEE Press, 1996.
- [25] Scaife, M., and Rogers, Y. Informing the design of a virtual environment to support learning in children. In *Journal Human-Computer Studies*, 55, 115-143. 2001.
- [26] Semper, R. J. Science museums as environments for learning. *Physics Today* vol.43 50-56, 1990.
- [27] Wickens, C. *Virtual Reality and Education*. IEEE Spectrum, 1992.
- [28] Zuckerman, O., Resnick, M. System Blocks: A Physical Interface for System Dynamics Learning. In *Proceedings International Conference of the System Dynamics Society'03* (New York, US. July 2003)