

# TANGIBLE:

Una plataforma de laboratorio para el ensayo de interfaces tangibles y multimodales

Guillermo Frías, Javier Marco, Francisco Serón y Pedro Latorre

## Resumen.

*El artículo describe el proyecto TANGIBLE, en concreto el desarrollo de una plataforma de laboratorio para la experimentación con interfaces colaborativas, tangibles y multimodales. La plataforma integra la visualización de escenas tridimensionales sobre una pantalla orientable estereoscópica con elementos de manipulación directa estáticos y dinámicos. Los objetos físicos se localizan espacialmente mediante un sistema óptico de localización reactIVision. Para construir objetos estáticos y dinámicos se han utilizado conjuntos de bajo coste LEGO (c) (Technic y Mindstorm) que permiten tanto la construcción de diferentes modelos como embarcar unidades base -ladrillos- NXT. Al contar con un extenso conjunto de sensores que se comunican por Bluetooth, se logra una interacción mutua en aplicaciones colaborativas.*

## Palabras clave:

Interfaces tangibles, interfaces multimodales, humano virtual

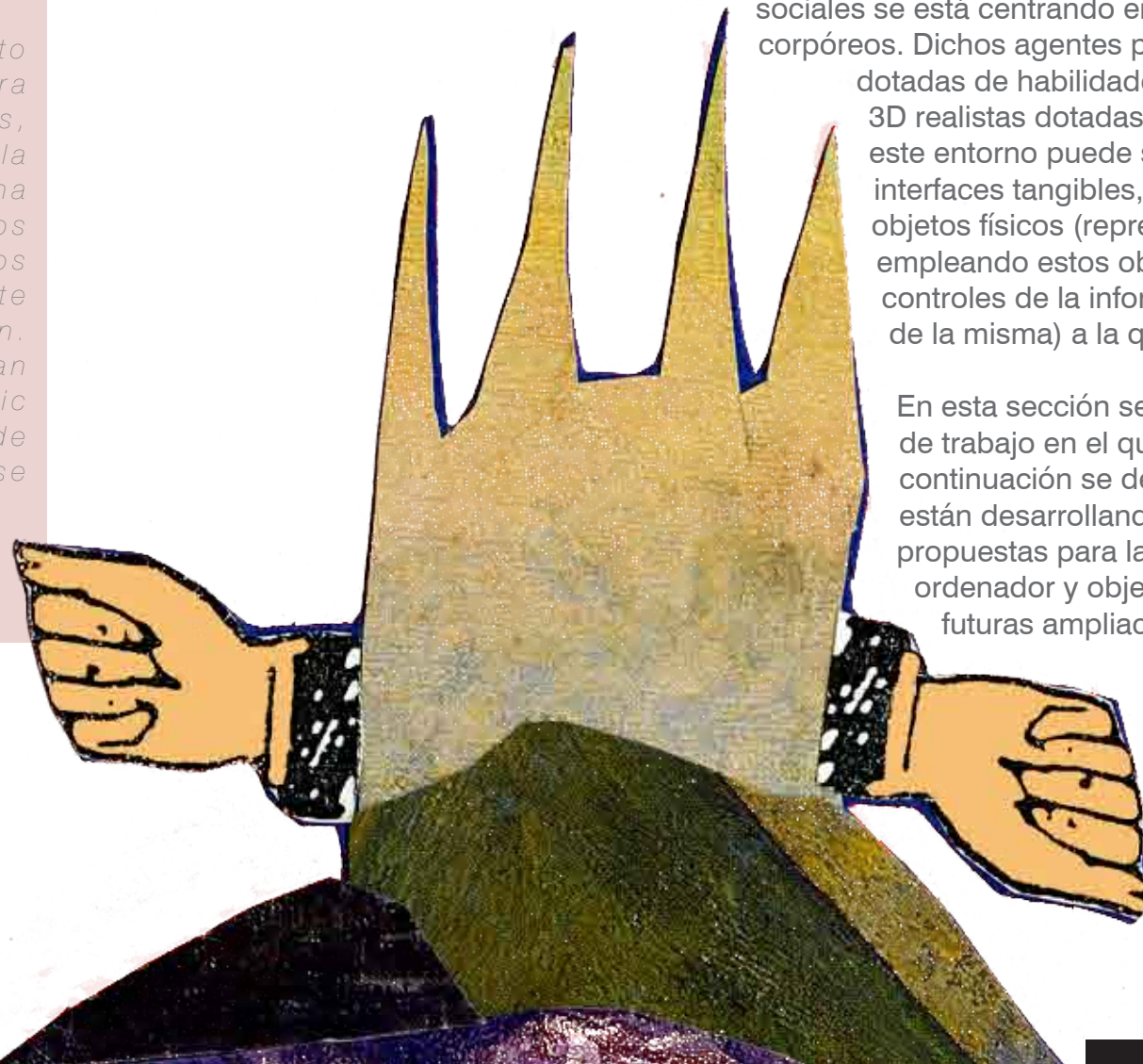
## 1 Introducción

El concepto de Ambiente Inteligente muestra una visión de la sociedad de la información en la que se enfatiza la facilidad de uso, el soporte eficiente de los servicios y la posibilidad de obtener interacciones naturales con el ser humano. En este contexto las nuevas interfaces de usuario [1] [2] se basan en la multimodalidad (voz, gestos), la personalización (preferencias, contexto) y la interacción social. Una gran parte de la investigación en interfaces sociales se está centrando en la utilización de humanos virtuales, o agentes corpóreos. Dichos agentes pueden consistir en simples caras animadas

dotadas de habilidades conversacionales o en representaciones 3D realistas dotadas de complejos movimientos corporales. A este entorno puede sumarse la interacción del usuario mediante interfaces tangibles, que son aquellas que asocian determinados objetos físicos (representaciones físicas) a cierta información digital, empleando estos objetos a la vez como representaciones y como controles de la información (en realidad del sustrato computacional de la misma) a la que representan.

En esta sección se presenta el proyecto TANGIBLE, el entorno de trabajo en el que se está desarrollando y sus objetivos. A continuación se describen las plataformas de trabajo que se están desarrollando, los problemas y soluciones ensayadas y propuestas para la comunicación ordenador-objetos, objetos-ordenador y objeto-objeto y se formulan las conclusiones y futuras ampliaciones y mejoras.

Se recalca que el objetivo del artículo es describir la plataforma desarrollada y un ejemplo de uso todavía parcial, dejando la integración y la elección, implementación y validación de aplicaciones para el próximo futuro.



## 1.1 El proyecto TANGIBLE

El objetivo del proyecto, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, es la generación de humanos virtuales realistas, tanto desde el punto de vista visual como de comportamiento, que soporten la interacción natural y emocional con el usuario. Dentro de la necesaria multimodalidad de la interacción se desea avanzar en el estudio de la utilización de interfaces tangibles como nueva forma de interacción natural especialmente indicada para el desarrollo aplicaciones en entornos de formación y entretenimiento.

Se desea avanzar en tres ámbitos:

1. La generación de un humano virtual visualmente realista: se desea investigar en aquellos aspectos relacionados con la simulación de la piel humana bajo distintas condiciones de iluminación, en especial simulación facial, buscando una representación realista en tiempos interactivos.
2. El comportamiento del humano virtual: en concreto en todos los aspectos relacionados con su individualización y, en particular, con el modelado de emociones y personalidad. El objetivo principal consiste en lograr que la interacción del usuario con el carácter virtual sea natural, no sólo multimodal sino “emotiva” o “afectiva”.
3. La interacción con el usuario: Se desea enriquecer la interacción humano virtualusuario con la utilización de interfaces tangibles que impliquen la manipulación directa de objetos físicos.

Dentro del proyecto este artículo se centra en el punto tercero; en concreto, el desarrollo de un entorno de laboratorio para la experimentación con interfaces en ambientes inteligentes con dispositivos para la interacción tangible.

## 1.2 Interfaces tangibles y multimodales

Se llaman Interfaces tangibles [3] a aquellas que asocian determinados objetos físicos (representaciones físicas) a cierta información digital, empleando estos objetos a la vez como representaciones y como controles de la información (en realidad del sustrato computacional de la misma) a la que representan. El término, acuñado por Ishii [4], se refiere a un nuevo paradigma de interacción que modifica (o elimina) la tradicional separación funcional entre entradas y salidas de la interfaz de un sistema informático.

Las interfaces tangibles (ITU) dan forma física a la información digital, empleando artefactos físicos que sirven al sistema informático a la vez como representaciones y controles [5]. La interfaz tradicional sigue el modelo MVC (Model-View Controller), separando la representación digital o vista, mediada por la pantalla, del control, mediado por el teclado y ratón. En su lugar, la interfaz tangible sigue el modelo MCRpd (Model-control-representation (physical and digital), que difumina la separación vista-control y en su lugar separa la vista en dos tipos de elementos: los citados objetos reales que permiten la manipulación directa (representación física), junto con dispositivos como pantallas, pantalla orientable estereoscópica, altavoces, etc. que permiten visualizar o escuchar información digital sin que medie ningún objeto real manipulable (representación digital).

Las ITU proporcionan una gran variedad de asociaciones entre objetos físicos e información digital [6]. Los objetos físicos a menudo incluyen detectores o sensores embebidos y tienden a seleccionar e interpretar los sistemas de objetos físicos según alguna de las tres categorías siguientes: con base en relaciones espaciales, con base en relaciones abstractas entre objetos o con base constructiva, o bien con base mixta, ya que la clasificación anterior no es excluyente.

Las interfaces multimodales están relacionadas en este proyecto con el trabajo con humanos virtuales, que no es un tópico nuevo en Informática Gráfica o animación por ordenador [7] [8]. Si embargo, en contraposición a los métodos off-line usados tradicionalmente por los animadores, estos nuevos humanos virtuales han de ser capaces de interactuar en tiempo real con el usuario. Ello hace necesario por un lado, el desarrollo de nuevos métodos de generación y, por otro lado, un gran esfuerzo de integración [9], ya que se ven involucradas áreas de investigación tan diversas como el rendering fotorrealista, la animación corporal y facial de figuras humanas, el procesamiento de lenguaje natural, el reconocimiento y la síntesis de voz y la comunicación no verbal.

## 2 La plataforma desarrollada

La ITU desarrollada no pretende ser una tal interfaz, sino un entorno de laboratorio en el que se pueda experimentar con la interacción con el humano virtual a través de la manipulación de prototipos de diferentes objetos activos –el usuario manipula el objeto, el sistema lo detecta y ordena un cambio del estado del objeto y éste lleva a cabo las órdenes- y pasivos, que son manipulados por el usuario y detectados por el sistema pero no son susceptibles de efectuar ninguna acción por sí mismos.





**Fig. 1. El sistema LEGO Mindstorms. Izquierda: Dos robots en el área de trabajo. La cámara se observa en primer plano (arriba). Derecha: detalle de los dos robots con los marcadores de reactIVision.**

Empezar desde cero, desarrollando dispositivos electromecánicos que tengan una funcionalidad determinada es algo que queda fuera del ámbito del proyecto. Por este motivo se ha explorado el mercado y escogido una plataforma de coste reducido, que dispone de elementos ya desarrollados y que pueden integrarse entre sí y con otros de otros orígenes, para formar prototipos de laboratorio y explorar sus posibilidades, dejando para estadios posteriores el diseño a medida. También se han utilizado entornos de visualización disponibles en nuestro laboratorio.

En esta sección se van a describir la plataforma elegida: los objetos físicos y sus posibles funcionalidades, los sistemas de detección y actuación de los mismos, los sistemas de visualización e interacción y un esquema de la plataforma desde el punto de vista de la interacción.

## 2.1 Los objetos físicos activos y pasivos: la plataforma LEGO® Mindstorms

La plataforma LEGO® Mindstorms [10] es un juego educativo de construcción de robots que permite el desarrollo de modelos de objetos más o menos realistas que pueden incorporar un buen número de detectores y de actuadores basados en motores paso a paso controlados por el ladrillo inteligente NXT. Este sistema es extremadamente versátil aunque su precisión es limitada. La parte mecánica es compatible con la serie Technics, que dispone de un gran número de piezas que pueden combinarse para formar modelos de objetos y máquinas [11].

El sistema dispone de un lenguaje de programación basado en elementos gráficos [12]. Existen librerías para Mindstorms como Robot-C [13], LEJOS [14] –que es la que hemos elegido– y otras. Los objetos pueden controlarse desde un ladrillo adicional NXT o directamente desde el ordenador vía USB o BlueTooth.

En nuestro desarrollo los objetos pasivos son (no exclusivamente) modelos desarrollados con piezas Lego Technics, y los objetos activos añaden los elementos Mindstorms necesarios para las funcionalidades requeridas y para la interacción (ver fig. 1, izquierda).

En esta primera fase se han explorado las cuestiones ligadas al diseño y programación de los elementos mecánicos y las funcionalidades ligadas al movimiento de los objetos en el plano (cálculo de trayectorias) y a la determinación de la posición y orientación (control de los servomotores y visión). Se ha experimentado con tres tipos de robots móviles.

## 2.2 Detección de la posición y orientación de los objetos físicos: el sistema de visión reactIVision

En esta primera fase la interacción con los objetos activos y pasivos se reduce a controlar su posición y orientación en el interior de una superficie de trabajo. Por un lado el usuario manipula los objetos y el sistema lo percibe, y por otra el sistema ordena el movimiento u otra acción de un objeto (activo) y éste lo ejecuta.

El primer intento se ha realizado utilizando el control de los servomotores. Esta estrategia se ha demostrado muy poco precisa por problemas puramente electromecánicos: deslizamiento o exceso de fricción de las ruedas, agotamiento parcial de la batería, etc. Otra posibilidad hubiera sido utilizar diferentes sensores de la serie Lego Mindstorms pero la integración y utilización de las señales tiene en parte los mismos problemas de precisión además de la limitación de memoria del ladrillo.

Por este motivo se ha optado por utilizar un sistema formado por una webcam y el sistema reactIVision. La webcam es de resolución media (2 Mpixels es suficiente para un área aproximada de 3-4 m<sup>2</sup>), se coloca cenitalmente sobre el área de trabajo y captura imágenes del área donde se encuentran los objetos señalados con marcadores del sistema reactIVision. Estos marcadores permiten identificar cada uno de los objetos y determinar su posición y orientación. para seguir la situación y el movimiento de los objetos (ver fig. 1, derecha).

ReactIVision [15] es un entorno multiplataforma open source de visión por computador que permite el seguimiento robusto y rápido de marcadores fijados a objetos físicos y que se diseñó para dar soporte al desarrollo rápido de aplicaciones de interfaces de usuario tangibles basados en

mesa de trabajo (TUI) y para superficies multitouch interactivas por Martin Kaltenbrunner y Ross Bencina en la Universitat Pompeu Fabra en Barcelona.

En nuestro desarrollo los marcadores se emplean para distinguir objetos pasivos y activos, adhiriendo un marcador diferente a cada uno de ellos. Los módulos de ReactIVision proporcionan su identificación, posición y orientación en cada momento. También se usan marcadores para delimitar el espacio de trabajo.

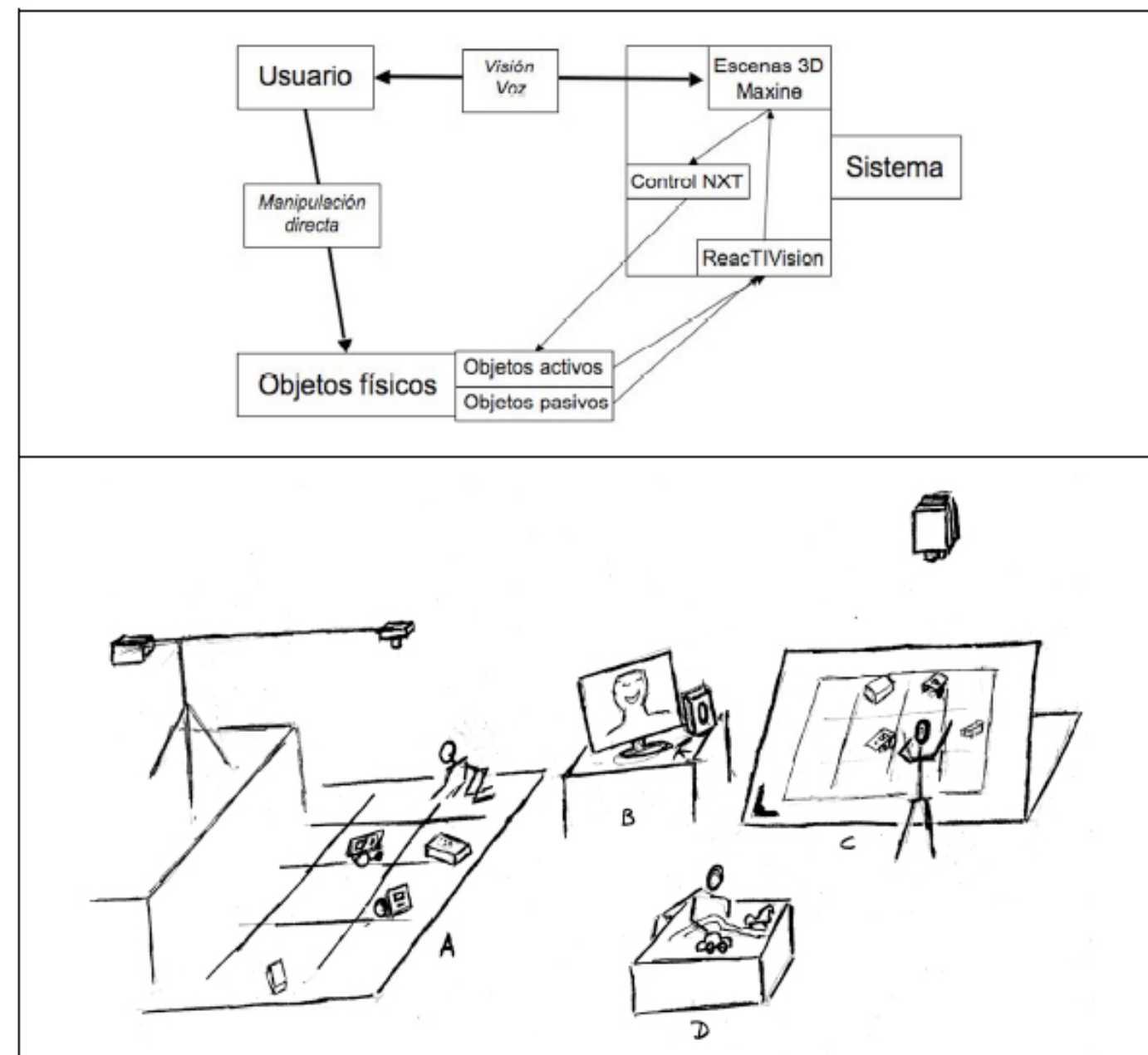
## 2.3 Sistema de visualización y control interactivo

Para integrar la visualización estereoscópica de escenas de síntesis en las que interviene el humano virtual con imagen real y los propios objetos físicos (en lo posible) se utiliza una pantalla orientable estereoscópica. Un banco de trabajo virtual o virtual workbench (VW) [16] es un entorno no inmersivo que permite a los usuarios visualizar e interactuar con objetos tridimensionales en un espacio de trabajo similar a una mesa de trabajo. La VW es un entorno ideal para trabajo colaborativo alrededor de la cual varias personas pueden reunirse para trabajar sobre los objetos virtuales 3D (ver fig. 2, derecha).

Nuestra pantalla orientable estereoscópica es un sistema mecánico articulado (similar a las workbench) que permite regular la inclinación del espejo y de la mesapantalla teniendo los dos proyectores fijos. Los observadores, dotados de gafas polarizadas pasivas, observan la escena



**Fig. 2. Izquierda: El sistema eBeam (emisor, borrador, punteros). Derecha: La pantalla orientable estereoscópica de nuestro laboratorio.**



**Fig. 3. Arriba: Esquema de interacción. Abajo: (A) Sistema de Interacción tangible Mindstorms con objetos activos y pasivos y detección ReactIVision; (B) S. I. multimodal (imagen y voz) con el agente Maxine; (C) Sist. de visualización 3D (banco de trabajo virtual) y control interactivo eBeam; (D) S. I. tipo tabletop con objetos pasivos NIKVision.**

desde el frente y trabajan sobre la misma mesa-pantalla.

El control interactivo se lleva a cabo mediante un dispositivo eBeam Projection [17]. Este sistema se puede fijar sobre cualquier superficie plana y permite localizar la posición y contacto de un puntero, y se maneja del mismo modo que un ratón se maneja sobre una pantalla convencional (ver figura 2, izquierda).

En una configuración ideal los objetos físicos se colocarían sobre la pantalla orientable estereoscópica y permitirían una interacción 3D multimodal y tangible. Sin embargo, existe un inconveniente estructural para utilizar nuestra pantalla



orientable estereoscópica de esta forma: el tablero no se puede colocar totalmente horizontal. Otra alternativa que se ha desarrollado es NIKVision (véase sección 3), aunque ésta tiene dimensiones muy inferiores y no permite estereoscopia.

Por otra parte, el entorno actual podría permitir la definición de entornos colaborativos en los que, por ejemplo, un niño trabaja en el suelo con los elementos físicos activos y pasivos, y otro trabaja delante de la pantalla e interactúa con la escena física proyectada que podría incluir al avatar Maxine.

Un problema que plantean todos los entornos con proyección o captura de imágenes cenital es el de las inevitables oclusiones. La forma más sencilla de sortear el problema es esperar a que dejen de producirse para actualizar la posición y orientación de los objetos, ya que se puede saber cuándo se producen.

## 2.4 Esquema de interacción

La figura 3 esquematiza los modos de interacción entre el usuario, los objetos físicos y el sistema y, dentro de éste, se explica el flujo de información entre los diversos bloques funcionales.

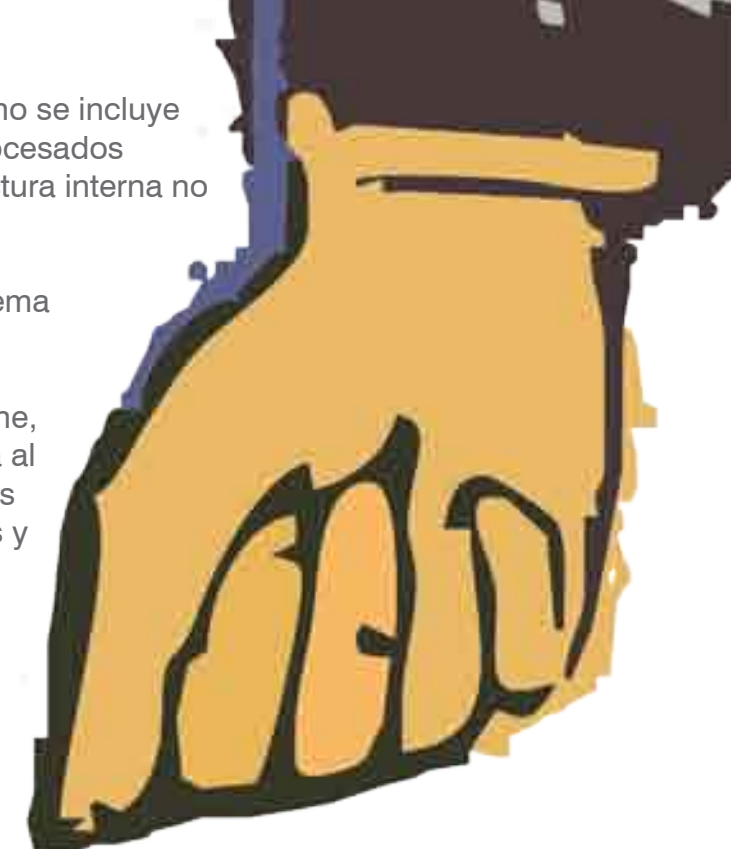
El usuario recibe información visual (y eventualmente la voz) desde el sistema mediante la proyección sobre la pantalla orientable estereoscópica o sobre la tabletop NIKVision de la escena 3D que puede incluir la imagen del humano virtual Maxine. También manipula y percibe el desplazamiento y funcionamiento de los objetos físicos, y emite respuestas o instrucciones vía



**Fig. 4. (Izquierda) Pruebas iniciales con NIKVision. El agente Maxine es en este caso el rostro que se observa arriba a la izquierda. (Derecha) El juego de educación vial.**

voz (o la tradicional teclado-ratón, que no se incluye en el esquema) que son recibidos y procesados aparentemente por Maxine, cuya estructura interna no se describe en este artículo.

Una vez realizada la integración, el sistema recibirá la información de la posición y orientación de los objetos mediante el módulo reactIVision y la pasará a Maxine, que la procesará y en su caso ordenará al módulo de control de los objetos activos que los mueva a sus nuevas posiciones y orientaciones.



## 3 Aplicación:

### Simulación de tráfico en un juego infantil

Como ejemplo de uso de los objetos activos Mindstorm y de las capacidades que se han descrito en el punto 2.1, se ha iniciado su aplicación en la plataforma NIKVision [18], [19] desarrollada también dentro del proyecto TANGIBLE. Se trata de una instalación lúdica para niños de 3 a 6 años en forma de tabletop, en la que los niños interactúan con los juegos por manipulación de juguetes sobre una mesa (fig. 4, izquierda).

Con los objetos activos Mindstorms se pueden implementar juguetes con forma de coche u otros (ver fig. 4, derecha), que podrían tanto ser manipulados por los niños como comportarse de forma autónoma, circulando por la calzada y respetando los semáforos, e interactuando con los juguetes pasivos movidos por los niños.

En este momento la circulación controlada del cochecito se realiza sobre el suelo y la visualización del juego sobre pantalla. Se han desarrollado los elementos para una plataforma para el ensayo de interfaces tangibles multimodales en laboratorio, integrando elementos físicos activos basados en arquitectura LEGO Mindstorms y LEGO Technic con diferentes sistemas de visualización como la pantalla orientable estereoscópica y la tabletop NIKVision y dispositivos de localización basados en visión con reactIVision.

## 4 Conclusiones y trabajo futuro

El conjunto permite desarrollar prototipos de aplicaciones que permiten la interacción con el usuario mediante el uso de elementos físicos activos y pasivos localizados en el plano y representaciones visuales 2D y 3D.

En cuanto al trabajo futuro este entorno abre un gran número de líneas de trabajo. Fundamentalmente, quedan pendientes dos cuestiones: la integración de la manipulación de los objetos activos y pasivos con la visualización de la escena virtual sobre la propia escena física y en su caso la interacción con el avatar (que ya se pueden testear por separado en este estadio de desarrollo) y explotar sus posibilidades como entorno colaborativo. Además, otros aspectos pendientes son los siguientes:

- Añadir funcionalidades a los objetos activos, que por el momento sólo son capaces de moverse o ser movidos por el plano de trabajo de modo que en todo momento se sabe su posición y orientación.

- Desarrollo de una aplicación demostrativa que integre el entorno tangible descrito con el resto de elementos del proyecto TANGIBLE

- Evaluación de las interfaces y de las aplicaciones, y adopción de las medidas de mejora subsiguientes. Para ello se utilizarán metodologías bien fundamentadas en la literatura. Por poner un ejemplo, NIKVision ya se ha evaluado siguiendo los métodos citados en [20], [21], [22].

---

**Agradecimientos.** Este artículo ha sido financiado por el proyecto TIN2007-63025/ titulado Tangible: Humanos realistas e interacción natural y tangible.

## Referencias

- 1. Canny, J.:** The future of human-computer interaction. ACM Queue, Vol. 4, Nº 6, July/August 2006
- 2. Pelachaud, C., Poggi, I.:** Multimodal embodied agents Source. The Knowledge Engineering vol. 17(2), 181 – 196, 2002
- 3. Carroll J.M.:** Human-Computer Interaction in the New Millennium. (ed). Addison Wesley Professional (ACM Press). ISBN-10: 0-201-70447-1; ISBN-13: 978-0-201-70447-1, 2001
- 4. Ishii, H., and Ullmer, B. Tangible Bits:** Towards Seamless Interfaces between People, Bits, and Atoms. In Proceedings of CHI'97234-241 (2007)
- 5. Holmquist L.E., Schmidt A., Ullmer B.:** Tangible interfaces in perspective. Personal and Ubiquitous Computing. Springer (2004)
- 6. Ullmer B., Ishii, H.** Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces. IBM Systems Journal, v39, n3-4, 915-931 (2000)
- 7. Pina, A., Cerezo, E., Serón, F.J.,** Computer animation: from avatars to unrestricted autonomous actors (A survey on replication and modelling mechanisms). Computer Graphics, Vol. 24, no. 2, 297–311 (2000)
- 8. Magnenat-Thalmann, N., Thalmann, D.:** Virtual humans: thirty years of research, what next?. Visual Computer, Vol. 21, 997-1015 (2005)
- 9. Gratch, J., Rickel, J., André, E., Badler, N., Cassell, J., Petajan, E.:** Creating Interactive Virtual Humans: Some Assembly Required. IEEE Intelligent Systems, 54-63 (2002)
- 10. Astolfo, D., Ferrari, M., Ferrari, G.:** Building Robots with LEGO Mindstorms NXT. ISBN- 13:9781597491525. Syngress Publishing – Elsevier (2007)
- 11. Sánchez Miralles, A., Meléndez Pardo, R.:** Constructopedia de robots móviles basados en LEGO. ISBN 84-689-0472-4. Sánchez, Meléndez eds. (2004)
- 12. Software LEGO Mindstorms NXT versión 1.1.**  
[http://mindstorms.lego.com/overview/NXT\\_Software.aspx](http://mindstorms.lego.com/overview/NXT_Software.aspx) (2007)
- 13. Entorno de programación RobotC.**  
[http://www.robotc.net/content/lego\\_over/lego\\_over.html](http://www.robotc.net/content/lego_over/lego_over.html) (2006)



**14. Biblioteca para la programación de Lego NXT LEJOS.**

<http://lejos.sourceforge.net/>  
(2006)

**15. Bencina, R. and Kaltenbrunner, M.:** The Design and Evolution of Fiducials for the reactIVision System, Proceedings of the Third International Conference on Generative Systems in the Electronic Arts (Third Iteration), Melbourne, 97 – 106 (2005)

**16. Obeysekare, U., Williams, C., Durbi, J., Rosenblum, R., Rosenberg, R., Grinstein, F., Ramamurti R., Landsberg, A., and Sandberg, W.:** Virtual Workbench - A Non-Immersive Virtual Environment for Visualizing and Interacting with 3D Objects for Scientific Visualization. Proceedings of the 7th IEEE Visualization Conference (VIS'96). 1070- 2385/96 (1996)

**17. Sistema de captura eBeam.**

<http://www.e-beam.com/products/>

**18. Marco, J., Cerezo E., Baldassarri S.:** NIKVision. Natural Interaction for Kids. IADIS Multiconference on Computer Science and Information Systems. International Conference Interfaces and Human Computer Interaction. Amsterdam. Holanda. (25-27 julio 2008). Proceedings on Interfaces and Human Computer Interaction.

**19. Marco, J., Cerezo, E., Baldassarri, S. Mazzonne, E. Read, J.** Bringing Tabletop Technologies to Kindergarten Children. 23rd BCS Conference on Human computer Interaction. Cambridge University. Conference Proceedings, 2009.

**20. Baauw, E., Bekker, M. M., and Markopoulos, P.** 2006. Assessing the applicability of the structured expert evaluation method (SEEM) for a wider age group. In Proceedings of the 2006 Conference on interaction Design and Children (Tampere, Finland, June 07 - 09, 2006). IDC '06.

**21. Read, J. C. and MacFarlane, S.** 2006. Using the fun toolkit and other survey methods to gather opinions in child computer interaction. In Proceedings of the 2006 Conference on interaction Design and Children (Tampere, Finland, June 07 - 09, 2006). IDC '06.

**22. Pardo, S., Vetere, F., and Howard, S.** 2005. Broadening stakeholder involvement in UCD: designers' perspectives on child-centred design. In Proceedings of the 17th Australia Conference on Computer-Human interaction: Citizens online: Considerations For Today and the Future (Canberra, Australia, November 21 - 25, 2005). OZCHI, vol. 122. Computer-Human Interaction Special Interest Group (CHISIG) of Australia, Narrabundah, Australia, 1-9.

## Sobre los autores

**Guillermo Frías** es Ingeniero en Informática por la Universidad de Zaragoza (2009). Actualmente participa en el proyecto TIN2007-63025 en la misma universidad. Sus intereses de investigación incluyen las interfaces tangibles y la interacción persona-ordenador.

**Javier Marco** es Ingeniero en Informática (1998). Actualmente está terminando un doctorado en Ingeniería Informática en la Universidad de Zaragoza (España). Su tesis analiza las ventajas de las interfaces tangibles para los niños y su participación durante el diseño y evaluación de las etapas.  
Web personal: <http://webdiis.unizar.es/~jjmarco>

**Francisco J. Serón** es el director del Grupo de Infomática Gráfica Avanzada (GIGA) (<http://giga.cps.unizar.es>), en la Universidad de Zaragoza, España. Sus laboratorios están ubicados en el Centro Politécnico de la misma ciudad. El Dr. Serón ha llevado a cabo trabajos de investigación e innovación en los campos de la Simulación de fenómenos naturales, Visualización y Computación Gráfica Técnica, y Computación Numérica y Computación Paralela. Ha publicado numerosos trabajos en estas áreas. Su investigación ha sido financiada por organismos regionales, gobiernos nacionales y la Unión Europea, así como por empresas privadas como IBM, GME, CASA, INDAL y WWP. Web personal: <http://webdiis.unizar.es/~seron>

**Pedro Latorre** es Licenciado en Física y Doctor en Informática. Es profesor titular en el área de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Zaragoza (España). Es miembro del Grupo de Informática Gráfica Avanzada (GIGA) y Director Técnico del Laboratorio Aragonés de Usabilidad. Sus intereses principales están en las áreas de simulación de fenómenos naturales e Interacción Persona-Ordenador.

