

Common Understanding Area (CUA): Una herramienta de diseño x-disciplinar para la innovación tecnológica

Teresa Blanco Bascuas
Instituto de Investigación en Ingeniería
de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza
Zaragoza, España
tblanco@unizar.es

Roberto Casas Nebra
Departamento de Ingeniería Electrónica
y Comunicaciones
Universidad de Zaragoza
Zaragoza, España
rcasas@unizar.es

José María López Pérez
Departamento de Ingeniería Electrónica
y Comunicaciones
Universidad de Zaragoza
Zaragoza, España
chlopez@unizar.es

Abstract— En el proceso de innovación de producto tecnológico es tan necesaria la implicación de diversas disciplinas como la *technology literacy* (alfabetización/competencia tecnológica). Los problemas de comunicación derivados de la falta de *technology literacy* en miembros del equipo dificultan la innovación disruptiva. Se presenta una herramienta metodológica, *Common Understanding Area* (CUA), que se demuestra útil en el ámbito docente; como instrumento individual de aprendizaje; guía de diseño de producto electrónico; recurso para estructurar la información; herramienta de comunicación y toma de decisiones; medio de definición de especificaciones de producto; o guía de evaluación de conceptos. Partiendo de una evaluación de largo recorrido con estudiantes de diferentes grados en ingeniería, se presenta la herramienta metodológica revisada, y asimismo transferida y validada en el ámbito profesional.

Keywords— metodología, diseño de producto electrónico, trabajo multidisciplinar, x-disciplinariedad.

I. INTRODUCCIÓN

La transgresión de las fronteras entre disciplinas es una de las principales consecuencias que ha traído consigo el progreso de la Sociedad del Conocimiento. La relación entre la ciencia y el mundo real ha sufrido enormes cambios [1], y el auge de las orientaciones transdisciplinares, o de lo que se ha denominado x-disciplinariedad [2] –como concepto abierto que recoge cualquier posible grado de multidisciplinariedad (multi, inter, cross, trans, etc)-, ha sido uno de los más recientes. Para alcanzar una innovación en tecnología es esencial que exista un solapamiento integrador entre mentes divergentes y convergentes [3] y que se aporten a la industria profesionales capaces de trabajar en este tipo de entornos [4].

Sin embargo, en el proceso de diseño de producto o servicio electrónico, los problemas de comunicación derivados de la falta de *technology literacy* (alfabetización/competencia tecnológica) en disciplinas que suelen formar partes de los equipos de innovación de las empresas (electrónica, telecomunicaciones, diseño, máquetin) dificultan la innovación disruptiva y fomentan barreras ya reconocidas en el trabajo x-disciplinar, principalmente la desconsideración y la brecha entre disciplinas.

Según la *International Technology and Engineering Educators Association* (ITEEA), el término *technology literacy* (alfabetización/competencia tecnológica) se define como la capacidad para usar, gestionar, evaluar y entender la tecnología [5]. De acuerdo con [6], la *technology literacy* tiene tres niveles, que de menor a mayor son representados por la habilidad del individuo de: (1) identificar las tecnologías que son relevantes

a una tarea determinada; (2) entender cómo se usa la tecnología y la interacción con su(s) interface(s); y (3) comprender el funcionamiento interno de la tecnología. Por su parte, [7] lista cuatro dimensiones en el proceso de aprendizaje crossdisciplinar, que son correlativas: (1) *Islands of Knowledge*, donde el entendimiento se restringe a la propia disciplina; (2) *Awareness*, es decir, la conciencia acerca de la existencia de otras disciplinas con capacidad de complementar la propia; (3) *Appreciation*, que implica un interés activo para entender y contribuir a los objetivos y conceptos de las otras disciplinas; y (4) *Understanding*, donde están ya presentes competencias para negociar, ser proactivo en la discusión y usar el lenguaje de la otra disciplina, así como para aportar los inputs necesarios antes de que estos sean requeridos.

Con todo esto en consideración, se plantea que el desarrollo de dispositivos electrónicos inteligentes requiere el tercer nivel de *technology literacy* de [6], para poder alcanzar el *understanding* de las otras disciplinas, en el sentido que propone [7]. Ante este panorama, se propone una herramienta denominada *Common Understanding Area* (CUA) (Área Común de Entendimiento), que tiene como objetivos principales (1) transmitir una base de conocimiento tecnológico para el diseño de dispositivos inteligentes y (2) servir como herramienta a posteriori durante la vida laboral del alumno (por tanto ser también un recurso profesional).

Partiendo de una evaluación de largo recorrido con estudiantes de diferentes grados en ingeniería, se presenta la herramienta metodológica revisada, y asimismo transferida y validada en el ámbito profesional.

II. METODOLOGÍA

Como estrategia concreta, una formación directa sobre las últimas tecnologías crearía un conocimiento efímero que, sin un ejercicio constante de mantenimiento, quedaría rápidamente obsoleto; sería como ofrecer pescado en lugar de enseñar a pescar. Por tanto, el desarrollo de CUA se basa en la teoría constructivista, por la cual se asume que el conocimiento se construye a partir del que ya existe [8].

El objetivo de la propuesta es crear analogías, vinculando sistemas y realidades bien conocidas con los fundamentos básicos de la tecnología. La Tabla 1 relaciona las preguntas de alto nivel que un profesional tiene que entender para diseñar correctamente un producto electrónico, con el conocimiento existente que se usa con la orientación constructivista. Estos son los cuatro pilares a partir de los cuales se construye *Common Understanding Area*, pudiéndose considerar como subáreas

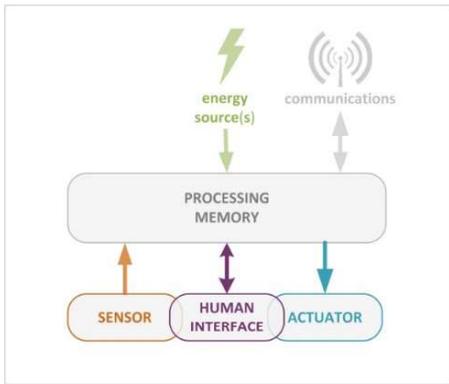


Figura 2. Arquitectura del dispositivo electrónico inteligente

Desde la perspectiva x-disciplinar, la codificación que se considera más adecuada para facilitar la comprensión es una doble clasificación basada en las capacidades y las restricciones de los dispositivos: Las capacidades de un dispositivo se relacionan en la teoría correspondiente a esta parte con los tres paradigmas de la Figura 1 —sensibilidad al contexto, acción automática e interacción con el usuario— y con las tres funciones intrínsecas —sensado, actuación, interacción—. Las restricciones de un dispositivo se relacionan principalmente con la energía, la computación y las comunicaciones, y permiten clasificar los dispositivos en mote, mobile o static (Tabla 3).

Tomando la Tabla 3 como soporte teórico, se propone el uso de la Tabla 4 como guía en el diseño de la arquitectura y bloques de un dispositivo. En cursiva aparecen las notas de apoyo que se añaden para facilitar la cumplimentación por parte del alumno.

TABLA 3. COMPARACIÓN ENTRE DISPOSITIVOS DE TIPO MOTE, MOBILE Y STATIC

| | MOTE | MOBILE | STATIC |
|------------------------|--|---|---------------------------|
| Size | Small | Any | Any |
| Mobility | Portable or Stationary | Portable | Stationary |
| Power consumption | Minimum | Low | Any |
| Power source | Battery or energy harvesting | Rechargeable battery | Mains powered |
| Lifetime | Months-years | Days | As long as power exists |
| Computational capacity | Reduced; implement one or few simple functionalities | Medium-high; implement services and complex functionalities | Any |
| Communic. | Short-medium range; low power; low data rate | Medium-long range; medium power; high data rate | Any |
| Example | Environmental sensor network, wearable sensor | Mobile phone, tablet | Light or motor controller |
| Example's architecture | | | |

TABLA 4. BLOQUES DEL PRODUCTO ELECTRÓNICO

| | INSTRUCTIONS |
|--------------------------------------|--|
| Architecture | <i>Draw building blocks</i> |
| Dimensions and weight | <i>Define approximately shape, dimensions, weight and other physical characteristics of the whole device</i> |
| Energy sources and expected lifetime | <i>Define approximately</i> |
| Communications | <i>Define the basic features that are needed (range, data throughput, topology, etc.)</i> |
| Type of sensors | <i>If included, what kind, where they will go, how they should perform</i> |
| Human Computer Interface | <i>Quote basic features</i> |
| Actuator | <i>If included, what kind, where they will go, how they should perform</i> |
| Processing and memory | <i>If needed; specify for what they are needed</i> |

Una alternativa que facilita el trabajo en equipo y la fluidez creativa, es usar como checklist la tabla 4 y como base de representación la figura 2. El uso de este recurso se puede ejecutar tal como se muestra en la figura 3, pero también a modo de dinámica con posits (en este caso la figura 2 se sitúa en el centro y los miembros del equipo colocan posits, alrededor de la figura, con el contenido que indica la tabla 4).

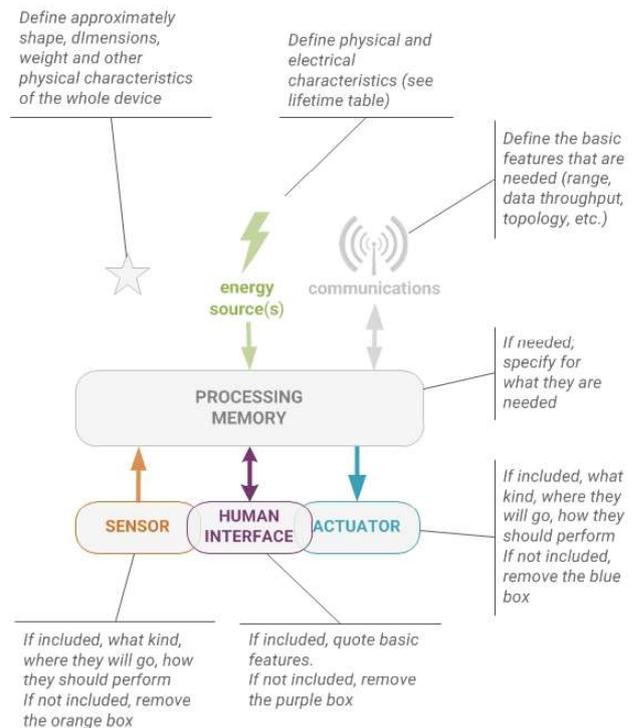


Figura 3. Definición de la arquitectura de bloques

Tanto la infografía como las fichas son herramientas de gran utilidad en la fase de generación de conceptos, en el momento de someter a valoración varias alternativas, con el fin de elegir

el concepto final. En este paso, el hecho de generar una arquitectura de bloques y su correspondiente tabla ayuda a desarrollar el análisis funcional de cada concepto. Además, mediante la comparativa de las tablas resultantes, es posible analizar la viabilidad tecnológica de cada uno de ellos, adquiriendo en este caso un uso de herramienta de validación y de toma de decisiones. La acción evaluativa puede complementar o preceder las técnicas de evaluación habituales para la elección del concepto final que se llevan a cabo con el cliente o con usuarios finales. Este uso de análisis y evaluación de concepto se propone también para el resto de las tablas que componen CUA.

C. Del combustible de un vehículo a la energía de un dispositivo electrónico.

La vida útil de un dispositivo electrónico es una de las características que motiva más significativamente su éxito o fracaso en el mercado y algo que otras disciplinas no suelen tener en consideración. Para desarrollar un diseño eficaz, es esencial (1) comprender las implicaciones que cada decisión de diseño tiene en el rendimiento energético, y viceversa, (2) comprender las limitaciones energéticas que deben ser consideradas desde el principio en el proceso de diseño.

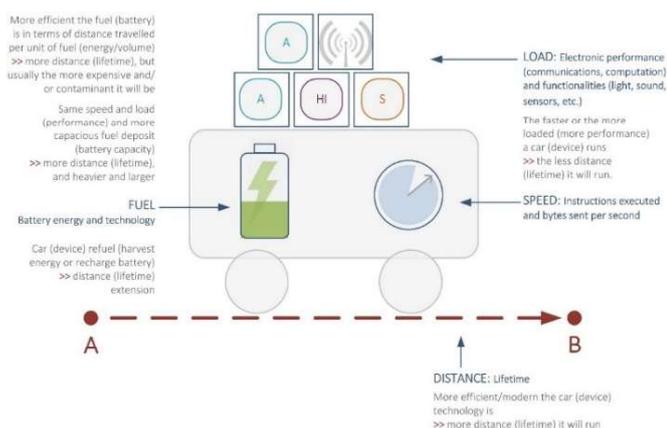


Figura 4. Metáfora de la vida útil para dispositivos electrónicos

En este caso, la infografía que acompaña a la teoría de CUA establece una analogía con un vehículo (Figura 4). Para su implementación, se proporcionan asimismo a los alumnos tablas con cifras relativas a la energía disponible para cada uno de los principales tipos de fuentes de energía; y relativas a la potencia y energía requerida por cada uno de los bloques típicos de un dispositivo electrónico inteligente. En la figura 5 se puede ver un ejemplo de aplicación.

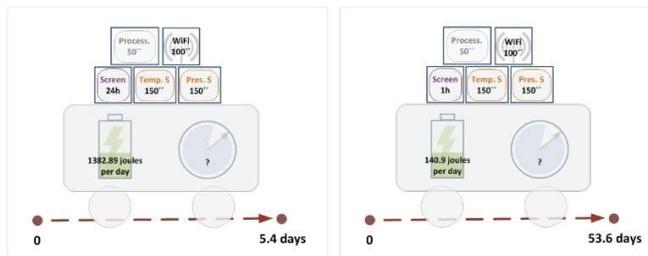


Figura 5. Ejemplo de aplicación

En la práctica, una vez que los bloques electrónicos han sido identificados en el paso anterior, la siguiente acción consiste en completar para cada bloque la Tabla 5. Finalmente, se realizan cálculos matemáticos que permiten estimar la vida del dispositivo.

TABLA 5. TABLA DE VIDA DEL DISPOSITIVO

| | Running power | Time in use per day | Energy required per day |
|---------------------------------|---------------|---------------------|-------------------------|
| Wireless communication | | | |
| Data processing | | | |
| Screen | | | |
| Sensors (temperature, presence) | | | |
| Standby (except screen) | | | |
| Total | | | |
| Lifetime (battery capacity) | | | |

D. De las comunicaciones humanas a la comunicación electrónica

Actualmente las comunicaciones son esenciales, ya que los dispositivos electrónicos cada vez tienen más necesidades de comunicarse entre sí y con Internet. Para transmitir la idea de que dos dispositivos han de compartir todas las capas del modelo ISO / OSI [11] se recurre a una analogía entre la comunicación humana y las comunicaciones electrónicas, que se ilustra en la tabla 6.

TABLA 6. ANALOGÍA ENTRE LAS COMUNICACIONES HUMANAS Y LAS COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS

| HUMAN COMMUNICATION | ISO/OSI LAYERS | ELECTRONIC COMMUNICATION |
|---|--|--|
| Words form sentences providing meaning Communication problem: Two persons who don't understand each other. E.g. Question: What time is it? Answer: it is red. | 7. APPLICATION | Serves as an interface between applications of nodes in the network Communication problem: node receives messages that are not applicable to its application; e.g., a temperature sensor receives a message asking for humidity value |
| Phonemes and letters form words Communication problem: Two persons speaking different languages | 6. PRESENTATION | Focus on the presentation of data from data link layer in order to provide understandable information Communication problem: node receives messages that are not understood |
| Build a conversation among three people while avoiding interruptions Communication problem: two persons talking at the same time | 3. NETWORK 4. TRANSPORT 5. SESSION | Guarantee node's access to the network, ensuring that messages reach destination and building relationships between nodes in network Communication problem: messages not reaching receiver due to high data traffic or message routing problems |
| Sound from phonemes, strokes of letters Communication problem: bad handwriting or vocalisation | 2. DATA LINK | Manage the data flow in and out of a node, ensuring common format of data messages Communication problem: data misinterpretation due to insufficiently strong RF signal |
| Physical link between people Examples: acoustic waves from speaker to listener, a written message on paper; non-verbal language (hand-eye) Communication problem: I cannot hear your voice because I'm deaf or because you talk too quietly | 1. PHYSICAL | Ensures physical connection between nodes Examples: radiofrequency, infrared, cabled Communication problem: Infrared remote cannot command a radiofrequency automatic door |

Además de entender cómo funcionan las comunicaciones electrónicas, para asegurar la factibilidad del concepto de producto los profesionales implicados en el proyecto deben conocer las limitaciones y características esenciales de los principales estándares de comunicaciones y saber cómo dichas características pueden influir en el diseño. También en este caso la comunicación humana sirve como inspiración y ejemplo (Tabla 7).

Como material de apoyo a los alumnos, se proporciona asimismo una tabla donde se muestran las características previamente expuestas en el contexto de los estándares de comunicación más comunes.

TABLA 7. ANALOGÍA ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS Y HUMANAS

| Comunicaciones electrónicas | Comunicaciones humanas |
|-----------------------------|--|
| Rango | Desde un susuro a un grito |
| Ancho de banda | Desde un SMS a un correo electrónico |
| Topología | Desde una conversación uno-a-uno a una reunión de amigos |
| Demanda energética | Desde un saludo a una master class |

Para facilitar el proceso de toma de decisiones de diseño en cualquiera de las sub-areas de CUA, se propone combinar las tablas con herramientas de tipo más cualitativo, como los mapas radiales o radar charts [12]. Para cada concepto o alternativa de diseño, se seleccionan una serie de dimensiones de producto. Dichas dimensiones se pueden extraer de cualquier tabla de CUA o proponer nuevas, seleccionando siempre aquellas que representen a las principales especificaciones del proyecto. El peso de cada dimensión se puntúa para componer varios gráficos (uno por concepto), que se pueden superponer y comparar. En caso de trabajo en grupo, las valoraciones se pueden otorgar individualmente, para posteriormente suscitar el debate en grupo. En la figura 6 se muestra un ejemplo de aplicación realizado con livegap.com.

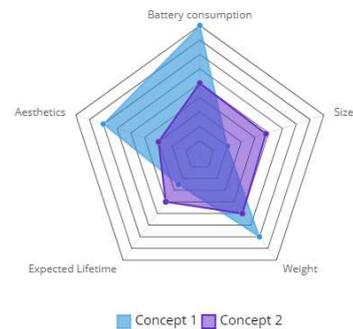


Figura 6. Ejemplo de radar chart con dos alternativas de diseño.

III. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para evaluar la eficacia de CUA se ha llevado a cabo una evaluación de largo recorrido, planteada en sucesivas iteraciones que han llevado la herramienta desde el mundo académico al profesional. Las primeras iteraciones del enfoque se llevaron a cabo, en profundidad creciente, en proyectos colaborativos con estudiantes de la Universidad de Zaragoza, implicando diferentes grados y másteres de ingeniería: grado de diseño industrial y desarrollo de producto junto con grado de electrónica [13][14]; y posteriormente de forma más detallada en máster de diseño industrial junto con cliente; máster de diseño industrial junto con grado de telecomunicaciones; grado de telecomunicaciones junto con cliente; proyectandos de fin de grado del grado de diseño industrial y desarrollo de producto; proyectandos del máster de diseño industrial y desarrollo de producto; proyectandos del grado en ingeniería electrónica y comunicaciones. Asimismo CUA se ha aplicado en diferentes proyectos de investigación x-disciplinares.

Todas estas iteraciones han seguido una estrategia de evaluación mixta cuantitativa y cualitativa, que ha considerado e incluido la perspectiva de estudiantes y profesores, ambos como usuarios de la herramienta metodológica y los segundos también como *proxies*. Las sucesivas metodologías de evaluación han incluido diferentes instrumentos evaluativos:

- Observaciones acerca del comportamiento de estudiantes y de los grupos, registrada mediante notas de campo;

- Evaluaciones de la calidad de los productos ideados, tanto en términos generales como en relación con su viabilidad tecnológica e innovación;
- Comparativas de la evolución de las calificaciones;
- Cuestionarios semiestructurados pasados individualmente a los estudiantes, con el fin de obtener su feedback acerca de su valoración de los beneficios obtenidos y de la percepción de los objetivos intangibles;
- *Focus group* y entrevistas semiestructuradas con los equipos de estudiantes, con el objetivo de profundizar ciertos resultados de las encuestas y de explorar aspectos relacionados con el trabajo diario de cada grupo.
- Trabajo guiado con proyectandos vs. trabajo sin guía con proyectandos.
- Entrevistas personalizadas con los proyectandos.
- Evaluaciones por parte de los profesores y directores de proyecto de los estudiantes.
- Evaluaciones de profesionales.

El estudio de los individuos y grupos de diferentes disciplinas permite corroborar que, aunque ingenierías todas y destinadas a colaborar, reproducen conflictos similares a los que arroja la literatura especializada en x-disciplinaridad. Los puntos de fricción y barreras más habituales son:

- Dificultades de comunicación entre disciplinas, no solo debido a las jergas, y formas de transmitir y de representar las ideas sino también por el diferente ritmo y metodología de trabajo al que están acostumbrados.
- Dificultad de conjugar perspectivas, derivado precisamente de la formación “centrada en la disciplina” que ambos grados reciben, los electrónicos ven el diseño como la carcasa que envuelve “su obra” y los diseñadores ven la electrónica como “las tripas” de “su obra”.
- Desvalorización de la disciplina contraria, principalmente por la asimilación de prejuicios históricos entre ingenierías.
- Diferentes intereses y perspectivas con respecto del producto.
- Diferentes motivaciones y responsabilidades, en algunos casos desbalanceadas a nivel disciplinar.

Los resultados tras los primeros años de experimentación, dentro de asignaturas colaborativas específicas, habían evidenciado cómo la metodología y el uso de las herramientas constructivistas mejoran la *technology literacy* de los diseñadores y cómo esto sirve de base sólida para el diálogo entre diseñadores y electrónicos. La metodología ataca tres flancos de la relación entre disciplinas: (1) con el aprendizaje de ciertas bases de la electrónica, los diseñadores superan sus limitaciones y adquieren una voz activa en el proceso de diseño conjunto, siendo capaces de negociar especificaciones y restricciones gracias a su mejor comprensión del medio; (2) los recursos gráficos proporcionados establecen un medio a través del cual se promueve el lenguaje común efectivo entre los dos

object worlds [15], dando también lugar a usos emergentes de CUA que le otorgan mayor valor; (3) en consecuencia, aumenta bilateralmente el respeto entre disciplinas, mejorando las actitudes hacia la disciplina contraria y produciéndose progresivamente una evolución desde las *islands of knowledge* hasta el *shared understanding*, que pasa por etapas intermedias de *awareness* y *appreciation*. Los beneficios también revierten en el desempeño grupal, reflejado por un lado en la calidad de los productos desarrollados, con una considerable reducción de errores y una mejora evidente en las capacidades tecnológicas de los dispositivos; y también en el rendimiento de los estudiantes.

La última evaluación de CUA ha tenido lugar en dos líneas: por un lado la puesta en marcha de la metodología “sin guía del profesor”. Esta acción ha tenido lugar en proyectos de fin de grado y máster, con el objetivo de comprobar si la herramienta podía usarse de forma independiente y constituir un recurso autoformativo. En este caso segmentamos los resultados según el conocimiento previo en electrónica. En el caso de estudiantes sin conocimiento de electrónica previo, la herramienta no se usa fluidamente cuando se hace de forma independiente, sin la aportación teórica que acompañaba su aplicación dentro de asignaturas específicas. Aunque les resulta útil en términos generales y la valoración es alta, la mayoría de estudiantes tienen dificultades para completar las tablas. El uso, sin embargo, mejora ostensible e incrementalmente con las siguientes acciones, ordenadas de menos a más: proporcionando al proyectando un texto escrito con la teoría; asistiendo al alumno individualmente de forma teórica y práctica (esta opción tiene la desventaja de la viabilidad para un solo director de proyecto); uniendo el trabajo de dos proyectandos de diferentes disciplinas, una de ellas electrónica o afín. Esto es un claro indicador de que la colaboración x-disciplinar no es prescindible en el mundo real y el hecho es que la gran mayoría de los estudiantes valoran positivamente el uso de la herramienta en colaboración. Los resultados en estos casos coinciden plenamente con los datos previos llevados a cabo en asignaturas de grado, por lo que se valida de nuevo el potencial de la herramienta como medio de trabajo x-disciplinar para la innovación TIC. Uno de los usos comunes en este sentido fue la de rellenar de forma iterativa las tablas y utilizar los esquemas al mismo tiempo que se desarrollaban conjuntamente los conceptos; durante el trabajo de conceptualización utilizaban las tablas o los diagramas para discutir acerca de la viabilidad de una idea para explicarnos por qué una idea era inviable: “Discutíamos sobre ello y proponíamos cambios... Evolucionamos todos nuestros conceptos de esta manera”.

En el caso de estudiantes con conocimiento previo medio o alto de electrónica, se produce una revelación inesperada. La aceptación de la herramienta en principio se preveía menor, dado que se trataba de proyectandos que ya habían seguido todas las asignaturas del grado, y algunos de los contenidos de la herramienta podrían parecer elementales. Sin embargo hacen una valoración alta, apreciando su utilidad para estructurar la información, como una guía para ayudar a organizar y “aclarar las ideas antes de profundizar en el desarrollo, como los

diagramas de flujo en programación", o para "resumir todo lo relacionado con la electrónica"

La segunda línea de experimentación ha consistido en probar CUA en un entorno no formativo. Su uso ha sido validado en un proyecto de investigación real, en concreto el Proyecto Sigue-Tu –Sistema Inteligente de Gestión de Emergencias en Túneles-, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de la Unión Europea y por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) del Gobierno de España en su Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 (código RTC-2015-3359-4). El uso de la herramienta en este contexto valida su uso libre sin guía, tanto por un tándem entre un diseñador y un electrónico como por grupos de electrónicos sin diseñador. Los resultados de esta aplicación han aparecido reflejados en publicaciones [10] y derivado asimismo en un modelo de utilidad (Ref: 201230980/1) y una patente (Ref: WO 2015055877).

Teniendo en cuenta a [16], este trabajo completa el marco de validación de [17], confirmando la *theoretical performance validity* de la metodología propuesta.

IV. CONCLUSIONES

En la era de *Internet of Things*, la industria y la investigación han de responder a una realidad plural que demanda productos basados en el avance tecnológico, unido a nuevos significados, usos e interacción entre humanos y tecnología. Este contexto demanda colaboraciones realmente x-disciplinarias; sin embargo, se percibe que el *shared understanding* es limitado entre disciplinas y que es necesario un marco común de trabajo donde los desarrolladores sean conscientes de lo mucho que sus decisiones afectan a la relación usuario-producto y donde los profesionales más asociados al usuario (diseño, marketing, etc.) entiendan las restricciones y potenciales asociados a las tecnologías. De esta reflexión se evidencia la urgencia por plantear estrategias formativas específicas y se propone CUA como una nueva metodología para el diseño x-disciplinar de dispositivos electrónicos.

Las sucesivas experiencias evaluativas que se han desarrollado en torno a CUA validan la utilidad de la metodología para el diseño de productos electrónicos inteligentes, pero también para trabajar fluidamente con otras disciplinas y para aumentar las competencias transversales de los miembros del equipo.

La metodología se demuestra útil en el ámbito docente, reconociéndose como un instrumento individual de aprendizaje; una guía de diseño de producto electrónico; un recurso para estructurar la información; una herramienta de comunicación y toma de decisiones en entornos x-disciplinarios; una herramienta de discusión y definición de especificaciones de producto; o una herramienta de evaluación de conceptos. Estas capacidades hacen que la herramienta trascienda los límites académicos, dando resultados asimismo en varios proyectos de investigación. Su aplicación en el mundo profesional hace ver asimismo el valor de la metodología como

herramienta profesional de diseño, como guía que puede ser utilizada por equipos mixtos x-disciplinarios o bien por el profesional individual involucrado en el diseño de producto electrónico. Se puede destacar el potencial de los recursos físicos de CUA, tanto las tablas como las infografías.

La evaluación llevada a cabo cubre tres de las cuatro dimensiones de la evaluación de metodologías propuesta por [15]: *theoretical structural validity*, *empirical structural validity*, *empirical performance validity* y *theoretical performance validity*.

AGRADECIMIENTOS

A todos los estudiantes, profesores y profesionales que han usado y validado CUA. Al Vicerrectorado de Política Académica de la Universidad de Zaragoza por su apoyo a través de las sucesivas convocatorias de proyectos de innovación docente. Al Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) del Gobierno de España y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de la Unión Europea, cofinanciadores de uno de los proyectos donde se implantó CUA.

REFERENCIAS

- [1] Hadorn, G. H., et al. (2008). *The emergence of transdisciplinarity as a form of research* (pp. 19-39). Springer Netherlands
- [2] Blanco, T. (2016). Metodologías de diseño como plataforma para la x-disciplinariedad en proyectos tecnológicos: surfing disciplines (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- [3] Onarheim, B., & Friis-Olivarius, M. (2013). Applying the neuroscience of creativity to creativity training. *Frontiers in human neuroscience*, 7
- [4] Tulsı, P. K., & Poonia, M. P. (2015). Expectations of Industry from Technical Graduates: Implications for Curriculum and Instructional Processes. *Journal of Engineering Education Transformations*, 19-24.
- [5] International Technology Education Association. (2000). *Standards for technological literacy: Content for the study of technology*. Reston, VA: International Technology Education Association.
- [6] Moore, D. R. (2011). Technology literacy: the extension of cognition. *International Journal of Technology and Design Education*, 21(2), 185-193
- [7] Fruchter, R. (2001). Dimensions of teamwork education. *International Journal of Engineering Education*, 17(4/5), 426-430.
- [8] Tempelman, E., & Pilot, A. (2011). Strengthening the link between theory and practice in teaching design engineering: an empirical study on a new approach. *International Journal of Technology and Design Education*, 21(3), 261-275

- [9] Ackoff, R. L. (1989). From data to wisdom: Presidential address to ISGSR, June 1988. *Journal of applied systems analysis*, 16(1), 3-9.
- [10] Asensio, Á., Blanco, T., Blasco, R., Marco, Á., & Casas, R. (2015). Managing emergency situations in the smart city: The smart signal. *Sensors*, 15(6), 14370-14396.
- [11] IOS/IEO Commission (1994). ISO/IEC 7498-1: 1994. *Information technology—Open systems interconnection—Basic reference model: The basic model*.
- [12] Nancy R. Tague. (2005). *The quality toolbox*. Asq Press
- [13] Blanco, T., Casas, R., Manchado-Pérez, E., Asensio, Á., & López-Pérez, J. M. (2017). From the islands of knowledge to a shared understanding: interdisciplinarity and technology literacy for innovation in smart electronic product design. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(2), 329-362.
- [14] Manchado, E.; Romero, C.; Blanco, T.; Casas, R.; López, J.M. "Una experiencia de aprendizaje colaborativo basada en la adaptación de metodologías de Design Thinking". En: *Actas del IV Congreso Internacional Sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad*. pp. 434 - 439. 2015. ISBN 978-84-608-2907-2.
- [15] Bucciarelli, L. L. (1999). Design delta design: Seeing/seeing as. In *Design Thinking research symposium* (Vol. 4, pp. 23-25)
- [16] Yin, R. K. (1994). *Case study research: Design and methods*. Sage publications
- [17] Pedersen, K., Emblemvag, J., Bailey, R., Allen, J. K., & Mistree, F. (2000, September). Validating design methods and research: the validation square. In *ASME Design Theory and Methodology Conference*.