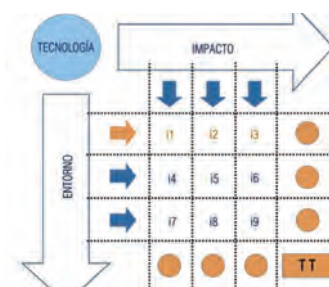


Metodología para evaluar el impacto de la incorporación de nuevas tecnologías en ciudades inteligentes



METHODOLOGY TO ASSESS THE IMPACT OF THE INTRODUCTION OF NEW TECHNOLOGIES ON SMART CITIES

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7388> | Recibido: 13/10/2014 • Aceptado: 12/12/2014

Autores

Pablo E Branchi, Carlos Fernández-Valdivielso,
Ignacio R. Matías-Maestro

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA (UPNA).
Institute of Smart Cities, ISC. Campus de Arrosadía, s/n
31006 Pamplona. Tfno. +34 948 169000.
pebranchi@hotmail.com

ABSTRACT

- IT is transforming society, and has high impact on infrastructure, transport systems, buildings and in public spaces. Urban areas are rebuilding the traditional technological scenario, with systems that create new needs, discovering new realities, and seeking new solutions. The aim of this paper is to establish a methodology to set an assessment tool for different technologies in terms of their usefulness and consequences, considering the impact of their applications. With it, policy makers and influencers can evaluate the advantages of each initiative, the virtues of the available technologies and systems, and the best way for it application in Smart Cities.
- **Keywords:** Smart Cities, Urban infrastructures, New technologies, Assessment methodologies, Social implications.

RESUMEN

Estamos frente a una revolución producto de los sistemas digitales y de comunicación, donde el papel de la tecnología continuará creciendo exponencialmente. Está calando profundamente en la sociedad, y tiene un alto impacto en las infraestructuras, los sistemas de transporte, en los edificios y en el espacio público. En el ámbito urbano se reconfigura el escenario tradicional tecnológico, con sistemas que generan nuevas necesidades, descubriendo nuevas realidades que buscan nuevas soluciones. El objetivo de este trabajo es el de establecer una metodología para la elaboración de una herramienta de evaluación para las diferentes tecnologías en función de su utilidad y consecuencias, contemplando la incidencia de sus aplicaciones. Con ella se podrán evaluar, por parte de políticos y técnicos prescriptores, las ventajas y desventajas de cada iniciativa, las virtudes de las tecnologías y sistemas disponibles, y el modo óptimo de su aplicación en las Ciudades Inteligentes.

Palabras clave: Ciudades Inteligentes, Infraestructuras urbanas, Nuevas Tecnologías, Metodologías de evaluación, Implicaciones sociales.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace décadas se reflexiona sobre el rol que deben asumir la ciudad y sus habitantes frente al advenimiento de las nuevas tecnologías. Algunos temían por una catástrofe digital, contraponiendo la tele-presencia como negación del espacio en favor del tiempo [1], como la concentración de movimientos, dinero e información, puede hacer desaparecer el espacio geográfico [2], o viendo la ciudad virtual como disolución de lo real [3]. Otros aportaban la visión de la ciudad como un Ecosistema complejo que metaboliza energía, materiales e información, transformándolos para producir bienes y servicios [4]. Las nuevas tecnologías permiten una mayor socialización en espacios hasta hora desconocidos, y en el siglo XXI se podrán establecer las condiciones adecuadas para crear una urbanidad civilizada basándose en un flujo de información [5].

Con las nuevas tecnologías las ciudades tendrán edificios e infraestructuras que harán de *hardware*, y redes que configurarán el *software*: una inteligencia ciudadana construyendo espacios inteligentes. Existen nuevas referencias para la organización social [6] y el papel de las TICs es fundamental, debiendo garantizarse la capacidad de entender estas nuevas herramientas por parte de los ciudadanos, evitándose cualquier

exclusión socio-tecnológica. Habrá que quitarse los temores ante lo desconocido, aprender a estudiarlo y disponer herramientas de análisis para saber cómo aplicarlo. Gracias a las implicaciones de las nuevas tecnologías, la prioridad son las relaciones y el movimiento, donde todo está interconectado, requiriendo nuevas lógicas, nuevos instrumentos de análisis y nuevos conceptos [7]. En la ciudad-digital, las nuevas tecnologías ayudarán a la mejor gestión de las redes de comunicación, la movilidad y las energías, pero la implementación y monitorización de estos sistemas sigue siendo el talón de Aquiles del planeamiento urbano [8]. La ciudad se despoja de temores y reconoce a las tecnologías un papel predominante, adquiriendo el título de Ciudad Inteligente (CI), ámbito natural para este trabajo.

Simular el comportamiento de diferentes sistemas y testar escenarios futuros permite mejorar la sostenibilidad de las ciudades, y el uso de herramientas de simulación permite realizar una evaluación objetiva de las estrategias de diseño apoyando a los proyectistas desde las primeras fases de toma de decisiones [9]. Se requieren nuevas metodologías que se adapten a las tres vertientes de la sostenibilidad: medioambiental, social y económico [10], y deben diseñarse procesos con visión sistémica permitiendo identificar características emergentes y mejorar toda área de oportunidad, a través de mejoras tecnológicas, económicas, sociales y políticas [11]. En este trabajo se describe el proceso que dio lugar al desarrollo de una metodología para la elaboración de una matriz para el análisis de tecnologías y sistemas en entornos urbanos elaborando un instrumento útil para contrastar el efecto de la aplicación de estos sistemas en las estrategias de CI. Se fijan tanto los criterios generales como la forma de interrelacionarlos, definiendo una metodología basada en la combinación de indicadores cuantitativos y variables cualitativas, que ayudarán a alcanzar una calificación para evaluar la aplicación de tecnologías y sistemas, y sus efectos más inmediatos. Las ciudades y sus planeamientos ya no se desligarán de las tecnologías que le dan forma, y éstas deparan aún un futuro de gran evolución. Por ello se presenta un instrumento abierto, escalable, revisable, capaz de analizar toda tecnología, sistema o infraestructura urbana que pueda formar parte de las nuevas estrategias de CI. Se plantean las bases de diseño de la metodología, el proceso de análisis a partir del estudio de diferentes iniciativas, y el trabajo conjunto con los expertos de la Red Española de Ciudades Inteligentes (RECI), analizando sus sistemas implantados. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos luego del análisis de más de 50 sistemas y tecnologías, concluyendo la utilidad del instrumento y los pasos futuros.

2. DESARROLLO

2.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

Muchos han hecho una revisión crítica de la literatura existente hasta el momento en cuanto a lo que es una CI, desde la perspectiva más sociológica [12][13] o economicista [14][15]. Algunos incluso se oponen a este término por considerarlo una moda pasajera [16]. No obstante se entiende que tiene suficiente calado en las esferas públicas, siendo ampliamente aceptado y utilizado por numerosos organismos, instituciones

y mundo científico. Pero en esta nueva etiqueta deben cuestionarse tanto las asunciones como las contradicciones que entraña este concepto [12]. Resulta difícil saber aun exactamente qué es una CI. La gran diversidad de conceptos que en ella se incluyen da multiplicidad de enfoques.

Aparecen numerosos rankings, tanto en Europa [17] como en España [18], pero todos reconocen que los indicadores utilizados para elaborarlos no disponen de parámetros cuantificables, producto de la indefinición del propio término de la CI. Es por ello que, además de ser un instrumento que ayude a definir las estrategias CI de una ciudad y elegir adecuadamente los sistemas a aplicar, la metodología que se desarrolla en este trabajo puede aportar un sistema objetivo para comparar CI.

Para evaluar este instrumento se contactó con el Ayuntamiento de Pamplona, estudiando las iniciativas que se estaban desarrollando en su estrategia municipal [19]. También nos acercamos a la RECI [20], con objeto de recoger datos básicos sobre sus iniciativas CI. Las 18 ciudades de la red con las que hemos trabajado, han mostrado interés en unas herramientas como las que planteamos con esta metodología, a la vez que los comentarios de expertos de estas ciudades nos han ayudado a perfilar los ámbitos principales de estudio y el primer esquema de indicadores. Al definir los ámbitos principales que deben ser estudiados en una estrategia de CI y, por ende, satisfechos por las tecnologías y sistemas que se le apliquen, se estudiaron distintos sistemas de definición estratégica [21][22][23], así como se analizaron informes en los que se estudian diversos casos de CI [24][25]. Si bien el enfoque sobre los ámbitos que se plantean es muy diverso, existe consenso en que uno es el referido a la movilidad, otro el que implica eficiencia energética, y un tercero que varía de unos a otros, pero que hemos englobado bajo el concepto de Calidad de vida, incluyendo áreas como habitabilidad, gestión de residuos, contaminación y gestión ambiental o servicios al ciudadano. Esta identificación no busca catalogar soluciones, sino que se reconoce su transversalidad, entendiendo que una misma tecnología puede afectar a más de uno a la vez, viendo oportuno poder ponderarlos dentro de la herramienta que aquí se desarrolla, para evaluar su impacto final en la estrategia de CI.

Centrarse en el concepto de CI dejándose cegar por las nuevas tecnologías y sus efectos positivos, lleva a subestimar sus posibles efectos negativos. Por ello deben surgir políticas locales apostando por un correcto planeamiento del ciberespacio urbano [26]. Una CI no puede ser etiquetada como Inteligente por haber simplemente adoptado sofisticadas TICs [12], debiendo urbanizar las tecnologías que desarrollen, haciéndolas accesibles y útiles para las personas a las que afecta directamente [13].

2.2. PROPUESTA DE DESARROLLO DE UN INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN

El instrumento que se plantea debe permitir obtener un dato fácilmente identificable, evaluando las diferentes tecnologías a disposición de los gestores urbanos, sean quienes definen las políticas -legisladores- o realizan los diseños de implantación -urbanistas-. Para esto, previamente se estudian diferentes sistemas de análisis de tecnologías. Desde la década de los '70 se introduce el término de *Technology Assessment* (TA) [27], y ya en los '90 se comenta que el proceso de TA

debe considerar las tecnologías emergentes en las sociedades y sus ambientes de forma completa [28], reafirmandose como un proceso científico, interactivo y comunicativo, estudiando sus implicaciones sociales [29].

Al ser un área que evoluciona constantemente, no existen herramientas universales que puedan aplicarse en todos los estudios sobre TA, requiriendo nuevas metodologías y enfoques para adecuarlos a las nuevas demandas [30]. Incluso se propusieron métodos para la definición de indicadores apropiados para evaluar el comportamiento ambiental y sostenible de las ciudades [31], o enfoques híbridos para la selección de tecnologías emergentes mediante la construcción de índices [32]. Pero se ha visto que ninguno de estos procedimientos es específico para las CI, por lo que resulta pertinente plantear una metodología de estudio enfocada en las tecnologías aplicables a las CI.

Debido a la multiplicidad de factores, la complejidad radica en definir un modelo que funcione por etapas de análisis diferenciadas, siendo capaz de reconocer si una solución propuesta es la más idónea para satisfacer las necesidades que le han dado origen. Se deben poder valorar y cuantificar de forma permanente y relacional tanto aquello a lo que se quiere dar solución como los instrumentos para conseguir los resultados esperados. Deben definirse criterios que puedan cruzarse en una matriz de doble entrada mediante elementos que constituirán el Impacto, a través de una serie de variables como su funcionalidad, resultados esperados y consecuencias. Por otro lado, la incidencia de otras variables relativas al Entorno: personal, social, urbano, medioambiental, requisitos económicos y requisitos energéticos [33]. Donde se cruce el Impacto con el Entorno, se definirán variables cuantificadas numéricamente, pudiendo promediarlas y sumarlas con las demás para alcanzar una calificación final de la tecnología. Se busca que la metodología tenga un correcto equilibrio entre indicadores cuantitativos y variables cualitativas, buscando un sistema eficaz y flexible a la vez, válido para cualquier sistema o tecnología que se aplique en la ciudad. Esta será la Matriz de Análisis de Tecnologías, denominada como TAM.

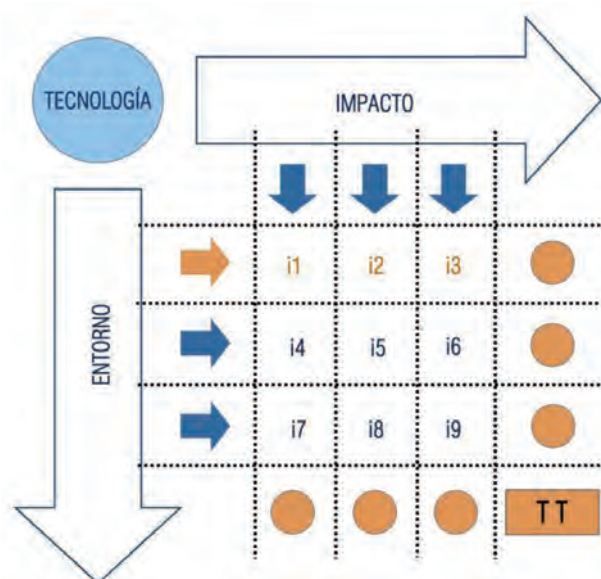


Fig. 1: Proceso de evaluación de la matriz TAM

2.3. MATRIZ DE ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS (TAM)

La calificación final de una tecnología determinada estará marcada por la múltiple combinación de elementos y su promediado consecutivo (Fig.1). En cada casilla se colocará un valor a partir los indicadores previamente definidos, obteniendo mediante su combinación un resultado para cada fila o columna respectivamente. Realizando el promediado de los resultados parciales se obtendrá la calificación final, denominada TT.

La consecutiva baremación de los diferentes conceptos dará un resultado objetivo a la vez que equilibrado, sin dejar elementos sin considerar por estar todos interrelacionados. A partir de este esquema se desarrolla la matriz teniendo en cuenta los conceptos planteados tanto para el Entorno como para su Impacto. En la siguiente tabla (Tabla I) puede verse el proceso de análisis de la TAM.

	Tecnología (nombre)	IMPACTO			Total
		1. Funcionalidad	2. Resultados esperados	3. Consecuencias	
ENTORNO	a. Ciudadano	1.a	2.a	3.a	Ta
	b. Social	1.b	2.b	3.b	Tb
	c. Urbano	1.c	2.c	3.c	Tc
	d. Medioambiente	1.d	2.d	3.d	Td
	e. Requisitos económicos	1.e	2.e	3.e	Te
	f. Requisitos Energéticos	1.f	2.f	3.f	Tf
Total		T1	T2	T3	TT

Tabla I: Matriz de análisis de Tecnologías (TAM): Conceptos generales y calificación

Mediante la combinación de cada concepto del Entorno con los de Impacto, se obtendrá un dato numérico, y en cada casilla aparecerá un valor que irá del 1 (menor impacto) al 5 (mayor impacto) en función de unos indicadores determinados, permitiendo distinguir cómo impacta la tecnología que se analiza en cada elemento del entorno. Cada fila y columna arrojará subtotales donde podrán evaluarse el balance global de cada criterio en la suma de elementos del entorno (T1, T2, T3), y el impacto total de esa tecnología (Ta, Tb, Tc...). Promediando los subtotales de cada fila y columna se obtendrá el resultado final de la tecnología en su conjunto. Cada casilla tendrá un despliegue de indicadores definiendo el valor que deberá colocarse en ella. El impacto de cada criterio en los diferentes elementos del entorno se calificará como puede verse en el siguiente ejemplo (Tabla II).

1. Funcionalidad	Pobre (1)	Medio (2)	Bueno (3)	Muy bueno (4)	Excelente (5)
a. Ciudadano			0		
b. Entorno Social		0			
c. Entorno Urbano				0	
d. Medioambiente				0	
e. Req. Económicos	0				
f. Req. Energéticos					0

Tabla II: Proceso de calificación de una Tecnología determinada

El resultado final del impacto que genera en cuanto a Funcionalidad esa tecnología luego de ser evaluada en todos los elementos del entorno será (Eq.1)

$$1.a = 3 \quad 1.b = 2 \quad 1.c = 4 \quad 1.d = 4 \quad 1.e = 1 \quad 1.f = 5 \quad (1)$$

$$T1 = (3 + 2 + 4 + 4 + 1 + 5) / 6 \quad T1 = 3.17$$

Para determinar qué valor se asigna a cada casilla se debe disponer de indicadores y variables que puedan ser utilizados en cada concepto. Para ello, se presenta una sugerencia inicial de los cinco posibles indicadores que serían desplegados en los distintos criterios con objeto de poder ser calificado (Tablas III, IV y V).

En cuanto a las consecuencias de la aplicación, se tomarán en cuenta tanto elementos positivos como negativos. Si un sistema requiere de tecnologías o fuentes energéticas complementarias, tendrá consecuencias positivas por su propia aplicación pero a la vez negativas por estas necesidades

adicionales. Puede haber un sistema económico y fácilmente aplicable, como una aplicación informática a tiempo real, pero si este sistema obliga disponer a todo ciudadano de un Teléfono inteligente (requiere de una tecnología adicional) y que esté cargado (requiere de una fuente energética), compensará a la baja los efectos positivos. Asimismo, existen tecnologías susceptibles a sabotajes, como información en la nube, apagones energéticos, o sabotajes al propio sistema operativo de la tecnología o sistema.

Una vez desarrollados los indicadores, queda definir el enlace de esta tecnología con los ámbitos de las estrategias CI. A la puntuación obtenida en la TAM se le aplicarán unos valores de corrección en función de los ámbitos de Movilidad, Eficiencia energética y Calidad de vida. No se pretenden definir indicadores específicos de cada ámbito, puesto que cada uno de ellos tendrá una estrategia propia, sino un instrumento con capacidad de valorar el funcionamiento conjunto de todas las variables que afectan a una CI. Por ello, en estos tres ámbitos cada uno de los factores se combinará con los demás criterios.

1.FUNCIONALIDAD	Pobre (1)	Medio (2)	Bueno (3)	Muy bueno (4)	Excelente (5)
a. Ciudadano	Imposible de ser utilizado por no expertos	No fácilmente utilizable. Requiere de otros sistemas y conocimientos previos	Fácil de utilizar, pero requiere de sistemas o abonos.	Sistema semi-automático. Requiere otros sistemas simples	Sistema automático. No requiere de otros sistemas
b. Social	Distorsiona el normal funcionamiento de la sociedad	Afecta levemente las relaciones en la vida urbana	No afecta la vida en sociedad por su funcionalidad	Permite una mejora en las relaciones sociales	Optimiza las relaciones sociales
c. Urbano	Se deben ejecutar infraestructuras y nuevos edificios	Se deben realizar sólo nuevas infraestructuras	No afecta el entorno físico urbano	Utiliza infraestructuras existentes	Mejora las infraestructuras existentes
d. Medioambiente	Dificulta la gestión ambiental actual	No permite gestión ambiental alguna	Facilita la gestión ambiental	Aporta mejoras la gestión ambiental	Automatiza sistemas de gestión ambiental
e. Req. Económicos	Tiene un costo superior al 20% del problema a solucionar	Tiene un costo inferior al 20% del problema a solucionar	No implica ningún gasto, tampoco genera ingresos	Permite mejorar las ventas y los servicios, rentabilizando la inversión	Obtiene ingresos inmediatos con su instalación
f. Req. Energéticos	Requiere de nuevas fuentes de energía	Requiere de nuevas infraestructuras energéticas	No requiere de nuevas infraestructuras energéticas	No utiliza energía	Optimiza el consumo energético de otros sistemas

Tabla III: Conceptos e indicadores para evaluación: Funcionalidad

2.RESULTADOS	Pobre (1)	Medio (2)	Bueno (3)	Muy bueno (4)	Excelente (5)
a. Ciudadano	Afecta negativamente la vida de las personas	No produce ninguna mejora para el ciudadano	Produce mejoras leves en el desarrollo de las personas	Mejoras considerables para el ciudadano	Grandes mejoras para las personas
b. Social	Afecta negativamente la vida en comunidad	No afecta la vida en sociedad	Produce leves mejoras en la vida comunitaria	Mejora la convivencia social en la ciudad	Optimiza la vida urbana y la comunicación en sociedad
c. Urbano	Afecta negativamente las infraestructuras existentes	No afecta a las infraestructuras existentes	Produce mejoras en las infraestructuras	Optimiza infraestructuras ya existentes	Optimiza infraestructuras y mejora el espacio público
d. Medioambiente	Produce daños medioambientales	No aporta ninguna mejora ambiental	Produce leves mejoras medioambientales	Optimiza las condiciones medioambientales	Mejora notablemente las condiciones ambientales
e. Req. Económicos	Muy costoso (más de 15 años para ser amortizado)	Costoso (más de 10 años para ser amortizado)	No muy costoso (más de 5 años para ser amortizado)	Buena inversión (más de 2 años para ser amortizado)	Sin costo y/o con retornos inmediatos
f. Req. Energéticos	Mayor consumo energético que al comienzo	Sin mejoras en el consumo energético	Mejora en consumo menor al 20% de ahorros	Mejora en consumo mayor al 20% de ahorros	Mejora en consumo mayor al 50% de ahorros

Tabla IV: Conceptos e indicadores para evaluación: Resultados esperados

3.CONSECUENCIAS	Pobre (1)	Medio (2)	Bueno (3)	Muy bueno (4)	Excelente (5)
a. Ciudadano	Afecta a cualquiera de los tres ámbitos	Sin mejoras en ninguno de los tres ámbitos	Mejoras en uno de los ámbitos	Mejoras en dos de los tres ámbitos	Mejoras en los tres ámbitos: movilidad, energía y calidad de vida
b. Social	Riesgos de ataque o sabotaje a la tecnología	Se requieren mecanismos de seguridad adicionales	Sin riesgos a la seguridad	Optimiza la sensación de seguridad	Mejora la seguridad y protección de datos
c. Urbano	Afecta negativamente al espacio público	Sin cambios en el entorno urbano	Mejoras en el espacio público	Mejoras en el espacio público y los edificios	Regeneración urbana de áreas degradadas
d. Medioambiente	Contamina totalmente el medioambiente (acústica, aire, lumínica)	Contamina sólo en materia acústica y/o lumínica	No produce ninguna contaminación	Reduce la contaminación en menos de un 20%	Reduce la contaminación en más de un 20%
e. Req. Económicos	Requiere de costosos mantenimientos y actualizaciones	Requiere actualizaciones periódicas con alto costo	No requiere actualizaciones costosas	Escalable, las actualizaciones aportan mejoras.	Optimiza el funcionamiento y produce ahorros en otros sistemas
f. Req. Energéticos	Utiliza energías contaminantes	Depende de fuentes externas de energía	Genera su propia energía para autoconsumo	No requiere energía	Puede suministrar energía limpia

Tabla V: Conceptos e indicadores para evaluación: Consecuencias

Estos ámbitos tendrán un despliegue de 5 indicadores, que puntuarán de 0,2 a 1, en tramos de 0,2. Si una tecnología obtiene en la matriz TAM una puntuación TT determinada, al

aplicársele los factores de corrección puede variar sensiblemente su impacto dentro de la estrategia. Es decir: una tecnología puede ser muy bien valorada por la TT, pero tener

COEFICIENTES	Muy bajo impacto (0,2)	Bajo impacto (0,4)	Impacto medio (0,6)	Alto impacto (0,8)	Muy alto impacto (1,0)
m. Movilidad	No afecta a la movilidad	Sistemas de control, pero sin mejoras	Aporta mejoras en la gestión e información	Mejoras en movilidad	Mejoras en movilidad y gestión
e. Eficiencia energética	No influye en eficiencia energética	Busca una mejora de un 10%	Busca una mejora de un 30%	Busca una mejora de un 50%	Mejoras superiores al 70%
q. Calidad de Vida	No aporta mejoras en Calidad de vida	Ofrece información al ciudadano	Mejora la gestión de servicios	Reduce contaminación, mejora calidad	Mejora gestión y reduce contaminación

Tabla VI: Indicadores m, e y q

	Coef. Movilidad (m)	Coef. Efic. Energética (e)			Coef. Calidad de vida (q)
	Tecnología (nombre)	IMPACTO			Total
		1. Funcionalidad	2. Resultados esperados	3. Consecuencias	
ENTORNO	a. Ciudadano	1.a	2.a	3.a	Ta
	b. Social	1.b	2.b	3.b	Tb
	c. Urbano	1.c	2.c	3.c	Tc
	d. Medioambiente	1.d	2.d	3.d	Td
	e. Requisitos económicos	1.e	2.e	3.e	Te
	f. Requisitos Energéticos	1.f	2.f	3.f	Tf
Total		T1	T2	T3	TT
TTm		TTe			TTq
					TTg

Tabla VII: Matriz de análisis de Tecnologías (TAM): Completa

impacto sólo en uno de los apartados de la estrategia global de CI. A medida que la tecnología o sistema propuesto adquiere un mayor impacto en los tres ejes principales (m; e; q), el índice será cada vez mayor (Tabla VI).

Entonces, a la calificación TT, una vez se le aplique el coeficiente de Movilidad, se le llamará TTm; al de Eficiencia energética se la designará TTe, y al de Calidad de vida, TTq. A la nueva calificación global corregida por estos tres conceptos, se le asigna el nombre de TTg (Tabla VII).

2.4. FUNCIONAMIENTO DEL MODELO TEÓRICO

Una tecnología o sistema puede tener incidencia en uno sólo o en varios de los ámbitos reseñados anteriormente. Puede tener una TT de 4,29, lo cual es una excelente puntuación, ya que el máximo sería de 5. No obstante, al baremarla en cuanto a Movilidad, se le aplica un coeficiente de 0,2; al analizar su impacto en cuanto a Eficiencia energética pueda tener un 0,8; y respecto de la Calidad de vida, un 0,4. Entonces (Eq.2):

$$\begin{aligned}
 TTg &= (TTm + TTe + TTq) / 3 \\
 TTg &= (4,29 \cdot 0,2 + 4,29 \cdot 0,8 + 4,29 \cdot 0,4) / 3 \\
 TTg &= (0,858 + 3,432 + 1,716) / 3 \\
 TTg &= 6,006 / 3 \\
 TTg &= 2,002
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Se pueden utilizar casos hipotéticos a modo de ejemplo, para explicar de mejor forma cómo deberían aplicarse los criterios a la hora de asignar los correspondientes coeficientes.

- Un sistema de gestión del tráfico: produce mejoras en la gestión de la movilidad (coeficiente m=0,6) ayuda a reducir la contaminación (q=0,8), y produce mejoras energéticas mínimas (e=0,2)
- La implementación del vehículo eléctrico: produce mejoras en la gestión de la movilidad (m=0,6), reduce contaminación (q=0,8) y produce una mejora en el consumo energético superior al 50% (e=0,8)

- c. El fomento del uso de la bicicleta: produce mejoras en movilidad ($m=0,8$), reduce la contaminación ($q=0,8$) y produce un ahorro energético pleno ($e=1$)
- d. El fomento del gobierno electrónico: mejora la gestión y reduce la contaminación por el no uso de papel ($q=1$), tangencialmente aporta una mejoras la movilidad por evitar desplazamientos innecesarios ($m=0,8$) y reduce levemente el consumo energético ($e=0,4$)

En algunos ejemplos no se producen mejoras, pero se estima oportuno mantener un coeficiente mínimo de 0,2 ya que en todo nuevo sistema hay efectos colaterales positivos (por ejemplo, evitar desplazamientos innecesarios, que repercute en eficiencia energética). A la hora de calificar la tecnología en cuanto a funcionalidad, resultados y consecuencias, ya se tienen en cuenta estos aspectos negativos.

El proceso se completa obteniendo la puntuación global para una tecnología aplicable en CI, así como la rápida visión de las calificaciones parciales para las diferentes áreas. En la matriz ya informatizada (Fig.2) se reflejan los datos de cada apartado y los datos totales TT y TTg, a los que se le asigna una letra que indica el valor de dicha tecnología para su aplicabilidad en entornos de CI. Mediante letras, la Etiqueta TT indica el valor propio de la tecnología, y la Etiqueta SC determina el peso de dicho sistema en un entorno de CI.

TECNOLOGÍA O SISTEMA		Descripción		LABEL TT	
INCUBAR		Desarrollar		B	
Coeficiente Movilidad (m)		Coeficiente Eficiencia Energética (e)		Coeficiente Calidad de Vida (q)	
Relativa a la movilidad		Buena mejora del 70% en eff. ener.		Otra mejoría en el ciudadano	
0,2		1		0,4	
LABEL SC		C			

EVALUACIÓN		IMPACTO			Total
		1. Funcionalidad	2. Resultados esperados	3. Consecuencias	
ENTORNO	a. Usuario / Ciudadano	Se mejora el servicio, no requiere otros sistemas	No produce mejoras para el ciudadano	Mejora en día de los aspectos	Ta 3,67
	b. Social	No afecta a la sociedad	No afecta la vida en sociedad	Optimiza la atención de seguridad	Tb 3,00
	c. Urbano	Mejora infraestructura existente	Mejora espacio urbano e infraestructuras	Mejora el espacio público	Tc 4,33
	d. Medioambiente	Facilita gestión ambiental	Optimiza condiciones medioambientales	Reduce la contaminación +20%	Td 4,00
	e. Requisitos estándares	Cumple estándar al 100% del problema o solución	Cumple (+10 años aprox.)	En actualización continua	Te 2,00
	f. Requisitos Energéticos	No requiere nuevos infraestructuras	Mejora consumo + del 50%	Dependencia de fuentes externas de energía	Tf 3,33
	Total	T1 3,33	T2 3,33	T3 3,50	TT 3,39
RESULTADOS SMART CITY		TTm 0,68	TTe 3,39	TTq 1,38	TTg 1,81
		LABEL m E	LABEL e B	LABEL q D	

Fig. 2: Matriz TAM informatizada

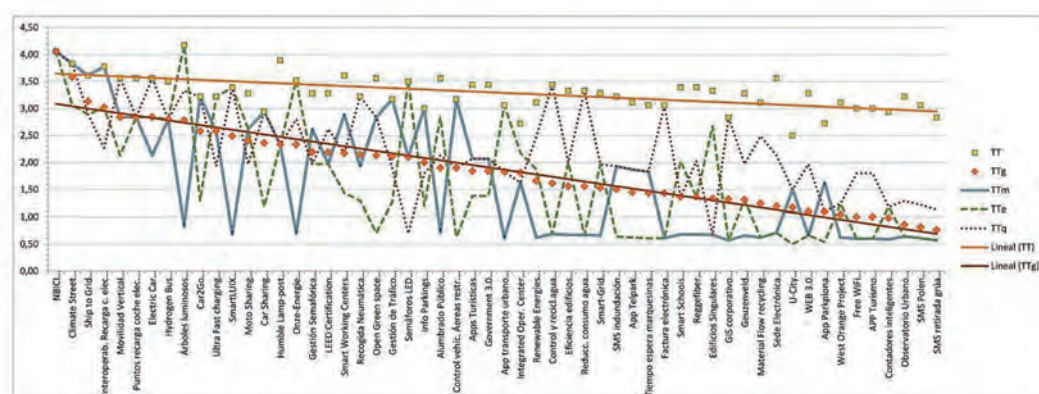


Fig. 3: Gráfico comparativo de las tecnologías analizadas con la TAM

3. RESULTADOS

3.1. CASOS PRÁCTICOS

Gracias al convenio firmado con el Ayuntamiento, pudimos realizar conjuntamente la evaluación de los sistemas ya implantados en su estrategia Smart City Pamplona [19] y, mediante la relación con los expertos de la RECI, se han estudiado otras iniciativas también implantadas en sus ciudades. Se estimó oportuno analizar también sistemas de otras ciudades fuera del ámbito nacional, tomando proyectos que son referentes internacionales, como los de la ciudad de Ámsterdam, Holanda, y el nuevo desarrollo de Songdo, en Corea del Sur.

Siendo que la premisa de esta metodología es poder estudiar todo tipo de tecnologías y sistemas aplicables a CI, se han tomado tanto iniciativas con una componente eminentemente TIC, como el desarrollo de aplicaciones web para información al ciudadano; sistemas combinados, en los que se mejoran infraestructuras con el apoyo de sistemas de gestión (alumbrado auto-regulable, tarjetas ciudadanas); o iniciativas menos tecnológicas pero igual de eficientes en ámbitos de CI, como el fomento del uso de la bicicleta.

3.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Se presenta una gráfica comparativa de sus resultados (Fig.3), ordenándolas de mayor a menor calificación TTg, y un resumen (Fig.4) con las 58 tecnologías y sistemas estudiados hasta el momento.

Después de este análisis hemos podido corroborar que la metodología permite obtener puntuaciones objetivas y comparables, independientemente de su naturaleza y complejidad. No sólo en el global de la tecnología (TT), sino su peso al aplicarla en cada ámbito (TTm, TTe, TTq) y el global para una estrategia CI (TTg). Quizás se ha detectado una tendencia a sistemas con calificaciones TT mayoritariamente entre 3,00 y 4,00 (88%), lo cual indica que, a priori, son buenos, aunque quizás demasiado homogéneos. Esto puede deberse a que todos los sistemas analizados provienen de estrategias de CI ya en marcha. Sin embargo, al aplicarle la corrección por ámbitos, la puntuación TTg ofrece más variabilidad, bajando incluso por debajo de 1,00,

lo cual demuestra que la metodología es útil para la toma de decisiones.

4. CONCLUSIONES

En una estrategia de Ciudad Inteligente (CI) pueden plantearse multitud de iniciativas, pero difícilmente acabe por conocerse su alcance real hasta que no sean puestas en práctica. Disponer de un instrumento dinámico que permita evaluaciones, permite también corregir y mejorar las iniciativas durante

el largo camino que implica toda estrategia urbana, ya que ésta debe ser capaz de superar modas e intereses particulares [34].

No se puede simplificar el estudio de la realidad urbana, y mucho menos minimizar el impacto que conlleva la aplicación de una determinada tecnología o sistema en la ciudad.

Toda CI debiera disponer de una herramienta de estudio que le permitiera ir de lo particular a lo general, contemplando tanto aspectos objetivos como subjetivos. Aquí se ha presentado una metodología que intenta abarcar el mayor número de criterios y variables que deberían ser tenidos en cuenta. Para su desarrollo se utilizan los principios analíticos que permiten

Ciudad	Nombre	Descripción	TT	Label TT	TG	Label SC	Ttm	Label Ttm	Tte	Label Tte	TTq	Label TTq
PAMPLONA	Observatorio Urbano	Gestión de datos a disposición del ciudadano	3,22	B	0,86	E	0,64	E	0,64	E	1,29	D
	SMS retirada grúa	Servicio SMS por retirada de vehículos por grúa	2,83	B	0,76	E	0,57	E	0,57	E	1,13	D
	SMS inundación	Aviso por SMS por riesgo inundación	3,22	B	1,50	D	1,93	C	0,64	E	1,93	C
	SMS Polen	Aviso por SMS del nivel de polen en la ciudad	3,06	B	0,61	E	0,61	E	0,61	E	1,22	D
	Free WiFi	Zonas de acceso libre a Internet en espacios públicos	3,00	B	1,00	E	0,60	E	0,60	E	1,80	C
	APP Turismo	Aplicación web para información turística en teléfonos inteligentes	3,00	B	1,00	E	0,60	E	0,60	E	1,80	C
	Eficiencia edificios	Optimización de consumo energético en edificios públicos	3,33	B	1,56	D	0,67	E	2,00	C	2,00	C
	Alumbrado Público	Mejora sistemas gestión y regulación al emisor público	3,56	A	1,90	C	0,71	E	2,84	B	2,13	C
	Semáforos LED	Cambio de luminarias en semáforos a tecnología LED	3,50	B	2,10	C	2,10	C	3,50	B	0,70	E
	Contadores inteligentes	Sustitución de contadores para permitir telemedición	2,94	B	0,98	E	0,59	E	1,18	D	1,18	D
	Edificios Singulares	Aplicación de energías renovables en edificios	3,33	B	1,33	D	0,67	E	2,67	B	0,67	E
	Recogida Neumática	Sistema de recogida neumática de residuos en casco histórico	3,22	B	2,15	C	1,93	C	1,29	D	3,22	B
	Movilidad Vertical	Colocación de rampas y ascensores públicos	3,56	A	2,84	B	2,84	B	2,13	C	3,56	A
	Gestión Semafórica	Sistemas de gestión inteligente centralizada de la red semafórica	3,28	B	2,19	C	2,62	B	1,97	C	1,97	C
	Gestión de Tráfico	Centro de Control de tráfico integrado	3,17	B	2,11	C	3,17	B	1,27	D	1,90	C
	Control vehic. Áreas restr.	Sistemas de control de acceso para vehículos áreas restringidas	3,17	B	1,90	C	3,17	B	0,63	E	1,90	C
	Info Parkings	Sistemas de información mediante carteles en zonas públicas	3,00	B	2,00	C	3,00	B	1,20	D	1,80	C
	App Parkipia	Aplicación disponibilidad plazas de aparcamiento de rotación	2,72	B	1,09	D	1,63	D	0,54	E	1,09	D
	App Telpark	Sistema de pago vía web para aparcamiento limitado	3,11	B	1,45	D	1,87	D	0,62	E	1,87	C
	Puntos recarga coche elec.	Distribución de puntos de recarga para coche eléctrico	3,56	A	2,84	B	2,84	B	2,84	B	2,84	B
AMSTERDAM	Interoperab. Recarga e. elec.	Sistema de interoperabilidad entre ciudades para recarga coche elec.	3,78	A	3,02	B	3,78	A	3,02	B	2,27	C
	Car Sharing	Coche eléctrico Compartido	2,94	B	2,36	C	2,94	B	1,18	D	2,94	B
	Moto Sharing	Moto eléctrica compartida	3,28	B	2,40	C	2,62	B	2,62	B	1,97	C
	NBICI	Sistema de alquiler público de bicicletas con tarjeta ciudadana	4,06	A	4,06	A	4,06	A	4,06	A	4,06	A
	Tiempo espera marcuquesinas	Pantallas con información tiempo de espera en marcuquesinas bus	3,06	B	1,43	D	1,83	C	0,61	E	1,83	C
	App transporte urbano	Aplicación smartphone con información transporte público	3,06	B	1,83	C	0,61	E	3,06	B	1,83	C
	Sede Electrónica	Sistemas de gestión ciudadana a través de web municipal	3,56	A	1,19	D	0,71	E	0,71	E	2,13	C
	Factura electrónica	Gestión de pagos electrónicos mediante firma digital	3,06	B	1,43	D	0,61	E	0,61	E	3,06	B
	GIS corporativo	Gestión de información municipal geoespacializada	2,83	B	1,32	D	0,57	E	0,57	E	2,83	B
	West Green Project	Visión de consumo energético en viviendas	3,11	B	1,04	D	0,62	E	1,24	D	1,24	D
SONGDO	Geuzenveld	Smart metering en un barrio completo	3,28	B	1,31	D	0,66	E	1,31	D	1,97	C
	Ship to Grid	Puntos de recarga para barcos y cruceros eléctricos	3,61	A	3,13	B	3,61	A	2,89	B	2,89	B
	Ultra Fast charging	Puntos de recarga rápida para coches eléctricos	3,22	B	2,58	B	2,58	B	3,22	B	1,93	C
	Smart Schools	Sistemas de gestión energética en colegios públicos	3,39	B	1,36	D	0,68	E	2,03	C	1,36	D
	Climate Street	Proyecto piloto en una calle comercial del centro de la ciudad	3,83	A	3,58	A	3,83	A	3,07	B	3,83	A
	Reggiefiber	Colocación de fibra óptica para gestión de datos	3,39	B	1,36	D	0,68	E	1,36	D	2,03	C
	Smart-Grid	Despliegue de una red de gestión energética en el municipio	3,28	B	1,53	D	0,66	E	1,97	C	1,97	C
	Onze-Energie	Cooperativas ciudadanas para instalación de aerogeneradores	3,52	A	2,33	C	0,70	E	3,52	A	2,80	B
	Smart Working Centers	Centros de Co-working	3,61	A	2,17	C	2,89	B	1,44	D	2,17	C
	Apps Turísticas	Aplicaciones para smart-phones con información para turistas	3,44	B	1,84	C	2,07	C	1,38	D	2,07	C
OTROS	Car2Go	Coche eléctrico Compartido	3,22	B	2,58	B	3,22	B	1,29	D	3,22	B
	Open Green space	Sistema de áreas verdes, peatonales y ciclistas	3,56	A	2,13	C	2,84	B	0,71	E	2,84	B
	Material Flow recycling	Política de reciclaje para todos los materiales de construcción	3,11	B	1,24	D	0,62	E	0,62	E	2,49	C
	LEED Certification	Todos los edificios certificados con protocolos LEED	3,28	B	2,19	C	1,97	C	1,97	C	2,62	B
	Renewable Energies	Incorporar energías renovables en edificios	3,11	B	1,66	D	0,62	E	1,87	C	2,49	C
	Control y recicl-agua	Recuperación agua de lluvia	3,44	B	1,61	D	0,69	E	0,69	E	3,44	E
	Reduce. consumo agua	Automatización para obtener un 30% de ahorro en consumo agua	3,33	B	1,56	D	0,67	E	0,67	E	3,33	B
	Electric Car	Centros de recarga del vehículo eléctrico con energía Fotovoltaica	3,56	A	2,84	B	2,13	C	2,84	B	3,56	A
	Hydrogen Bus	Autobuses públicos propulsados por hidrógeno	3,50	B	2,80	B	2,80	B	2,80	B	2,80	B
	Integrated Oper. Center	Control de tráfico, seguridad y servicios públicos centralizado	2,72	B	1,81	C	1,63	D	2,18	C	1,63	D

Fig. 4: Matriz resumen de las tecnologías analizadas con la TAM

obtener una calificación objetiva basada en la suma de indicadores, tanto cuantitativos como cualitativos, contemplando la superposición de los elementos más diversos que se produce en una ciudad, sirviendo para comprobar que existen sistemas mejores que otros en los diferentes ámbitos, así como que algunos pueden tener un mayor impacto global en la estrategia porque afectan a más de un ámbito de la CI.

Esto es sólo el primer paso que busca definir las bases de esta metodología y seguramente quepan múltiples revisiones, sobre todo, de los indicadores que han de ser tenidos en cuenta. Para ello se continúa trabajando con los miembros más activos en España en la materia, analizando sus estrategias y tecnologías. Entre los pasos futuros está el seguir testeando la herramienta en distintas ciudades y sus sistemas, perfeccionar los indicadores a partir de la experiencia en casos reales y definir

un manual con directrices para que quien utilice la herramienta no tenga dudas sobre qué indicador aplica en cada caso, minimizando así la subjetividad de su aplicación. Asimismo, se está trabajando en una segunda matriz en la que se evalúa el impacto combinado de las diferentes tecnologías y sistemas a partir de los datos individuales de la TAM, buscando obtener un sistema de calificación global para estrategias CI.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de los miembros de la RECI, y especialmente del Ayuntamiento de Pamplona, sin cuyo apoyo no hubiera sido posible obtener tan valiosa información.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Virilio P. *El cibermundo, la política de lo peor*. 1 edición. Cátedra, 1997. 112p. ISBN 84-376-1574-7
- [2] León F. "Metapolis: la ciudad deconstruida", *Astrágalo*. Julio 1998, Nº 9, p. 17-41
- [3] Fernández Martorell C. "De la ciudad de Dios a la ciudad virtual". *Astrágalo*. Septiembre 1999, Nº 12, p. 69-75
- [4] Hernández Pezzi C. "Artefactos de los nuevos sistemas urbanos". *Astrágalo*. Diciembre 2000, Nº 16, p. 71-83
- [5] Mitchel W. *E-TOPIA, Urban life, Jim-but not as we know it*. 1 edition. The MIT press, 2000. 184p. ISBN 0-262-13355-5
- [6] Castells M (ed.). *La Sociedad Red: una visión global*. 1 edición. Alianza Editorial, 2006. 560p. I.S.B.N.: 978-84-206-4784-5 (1ª edición en inglés, *The network society*, 2004)
- [7] García Vázquez C. *Ciudad Hojaldre, Visiones urbanas del siglo XXI*. 1 edición. Gustavo Gili, 2004. 230p. ISBN 978-84-252-1970-2
- [8] Fusero P. *E-City, digital networks and cities of the future*. 1 edition. List, 2008. 160p. ISBN 978-88-95623-06-1
- [9] Tumini I, Higuera-García E. "Alcances y limitaciones de las herramientas de simulación para el estudio del microclima urbano". *DYNA Energía y Sostenibilidad*. ENERO 2013. Vol. 2-1 p.1-17. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/ES6921>
- [10] Caro-Carretero R, García-Jiménez F. "Proceso de toma de decisiones de sostenibilidad en un proyecto técnico municipal". *DYNA Energía y Sostenibilidad*. ENERO 2014. Vol. 3-1 p.[1-14]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/ES7188>
- [11] Morales-Varela A, Rojas-Ramírez J, Hernández-Gómez L et al. "Modelación de la dinámica de sistemas: un enfoque de redes de Petri". *DYNA Management*. ENERO 2014. Vol. 2-1 p.[1-13]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/MN7089>
- [12] Hollands, Robert G.: "Will the real smart city please stand up?". *City*. 2008, 12 (3), p.303- 320
- [13] Sassen S. *Talking back to your intelligent city*. McKinsey and Company, 1 de febrero de 2011. Disponible en Web: <http://voices.mckinseysociety.com/talking-back-to-your-intelligent-city/> [Consulta: 10 de marzo de 2014]
- [14] Caragliu A, del Bo C, Nijkamp P. *Smart cities in Europe*. Serie Research Memoranda 0048; VU University Amsterdam. 2009. Disponible en Web: <http://zappa.uvu.vu.nl/20090048.pdf> [Consulta: 10 de octubre de 2013]
- [15] Shapiro JM. "Smart cities: Quality of life, productivity, and the growth effects of human capital". *Review of Economics and Statistics*. 2006, 88, p. 324-335.
- [16] Borja J. *Ciudades Inteligentes o cursilería interesada*. Blog Otras miradas. Diciembre 2013. Disponible en Web: <http://blogs.publico.es/otrasmiradas/1395/ciudades-inteligentes-o-cursileria-interesada/> [Consulta: 14 de abril de 2014]
- [17] Giffinger R, Fertner C, Kramar H, et al. *Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities*. University of Technology: Vienna, 2007. Disponible en Web: http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf [consulta: 15 de noviembre de 2013]
- [18] Achaerandio R, Bigliani R, Curto J, et al. *Smart Cities Analysis in Spain 2012 - The Smart Journey*; IDC España, 2012. Disponible en Web: http://www.portalidc.com/resources/white_papers/IDC_Smart_City_Analysis_Spain_EN.pdf [Consulta: 18 de noviembre de 2013]
- [19] Ayuntamiento de Pamplona. Definición de la estrategia Smart City Pamplona. Disponible en Web: <http://www.pamplona.es/verDocumento/verdocumento.aspx?idDoc=264537> [Consulta: 4 de noviembre de 2013]
- [20] *Red Española de Ciudades Inteligentes*. Disponible en Web: http://www.redciudadesinteligentes.es/sobre-la-red/quienes-somos/ampliar.php/Id_contenido/301/v/0/ [Consulta: 5 de noviembre de 2013]
- [21] IESE Business School, *Cities in Motion - Index 2014*. Disponible en Web: <http://www.iese.edu/research/pdfs/ST-0333-E.pdf> (Consulta: 6 de agosto de 2014)
- [22] Cohen, Boyd: *Smart Cities*. Disponible en Web: <http://www.boydcohen.com/smartcities.html> (Consulta: 8 de agosto de 2014)
- [23] AENOR: *El Papel de las Normas en las Ciudades Inteligentes Informes de Normalización*. Disponible en Web: <http://www.esmartcity.es/images/ESMARTCITY/media/content/20140723-aenor-papel-normalizacion-ciudades-inteligentes.pdf>. (Consulta: 24 de julio de 2014).
- [24] Neirotti, P.; De Marco, A.; Cagliano, A.C.; Mangano, G.; Scorrano, F.: "Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts", *Cities* 38 (2014); pp. 25-36
- [25] Ojo, Adegboyega; Curry, Edward; Janowski, Tomasz: *Designing next generation Smart City initiatives: harnessing findings and lessons from a study of ten Smart city programs*. Twenty Second European Conference on Information Systems, Tel Aviv, 2014. p.1-14
- [26] Aurigi A, Graham S. "Virtual Cities, Social Polarisation and the Crisis in Urban Public Space", *Journal of Urban Technology*. 1997, Vol.4, Number 1. p. 19-52
- [27] Coates JF. "Technology Assessment - A Tool Kit". *Chemtech*. 1976 (June), p. 372-383.
- [28] Porter AL. "Technology Assessment". *Impact Assessment*. Summer 1995, Volume 13. p. 135-151
- [29] Decker M, Ladikas M (eds.). *Bridges between science, society and policy technology assessment - methods and impacts*. 1 edition. 2004. Springer Verlag. 252p. ISBN 978-3-662-06171-8
- [30] Tran TA, Daim T. "A taxonomic review of methods and tools applied in technology assessment". *Technological Forecasting & Social Change*. 2008, 75, p. 1396-1405
- [31] Diakaki C, Grigoroudis E, Stabouli M. "A risk assessment approach in selecting environmental performance indicators". *Management of Environmental Quality: An International Journal*. 2006. Vol. 17 Iss: 2, p.126-139
- [32] Lucheng H, Xin L, Wenguang L. "Research on emerging technology selection and assessment by technology foresight and fuzzy consistent matrix". *Foresight*. 2010. Vol. 12, Iss: 2, p. 77-89
- [33] Branchi P, Fernández-Valdivielso C, Matías I, *City & Technology: An analysis matrix to serve citizens*, International Conference on New Concepts in Smart Cities (SmartMILE), Dec. 201. IEEE, pp. 1-5. DOI: 10.1109/SmartMILE.2013.6708179
- [34] Bruggmann J. *Welcome to the urban revolution*. 2010. 1 edition. Bloomsbury Press. 344p. ISBN 978-1-60819-092-8

Copyright of DYNA - Ingeniería e Industria is the property of Publicaciones Dyna SL and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.