

# Análisis prospectivo del sector del agua para Panamá al año 2040 como estrategia para la identificación de oportunidades tecnológicas y de innovación

## Foresight analysis of the water sector for Panama to the year 2040 as a strategy for the identification of technological and innovation opportunities

Pere ESCORSA Castells [1](#); Enric ESCORSA O'Callaghan [2](#); Juan Manuel MONTES Hincapie [3](#); Gabino AYARZA Sanchez [4](#); Bibiana ARANGO Alzate [5](#); Jairo CHAUR Bernal [6](#); Raul HERNÁNDEZ Zarta [7](#); John Fredy MORENO Sarta [8](#)

Recibido: 26/04/2017 • Aprobado: 21/05/2017

### Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Antecedentes](#)
- [3. Marco de referencia](#)
- [4. Metodología](#)
- [5. Resultados y discusión asociados a la gestión del agua](#)
- [6. Conclusiones](#)

### Referencias

#### RESUMEN:

La Fundación Ciudad del Saber (FCDS) de Panamá, ha planteado la necesidad de utilizar la prospectiva como una estrategia para la identificación de oportunidades tecnológicas y de innovación en temas prioritarios (Gestión del Agua, Educación y Salud) para la sociedad panameña tomando como horizonte el año 2040. Este artículo, presenta los resultados de la consultoría-conducción de talleres de prospectiva desarrollados para el tema de la GESTIÓN DEL AGUA por parte del Equipo multinacional integrado por expertos de la Empresa IALE Tecnología (España - Chile), la

#### ABSTRACT:

The City of Knowledge Foundation (CoKF) of Panama, has raised the need to use foresight as a strategy for identifying technological and innovation opportunities in priority issues (Water management, Education and Health) for Panamanian society on the horizon year 2040. This article presents the results of the consultancy-conducting foresight workshops developed for the WATER MANAGEMENT issue by the multinational team composed of experts from the IALE Company Technology (Spain - Chile), Universidad Pontificia Bolivariana and the University Medellin (Colombia). The

Universidad Pontificia Bolivariana y la Universidad de Medellín (Colombia). El objetivo de la consultoría ha sido aplicar las metodologías adecuadas para la conducción de talleres de prospectiva, de acuerdo a los temas previamente identificados y con la participación de expertos en el tema de la GESTIÓN DEL AGUA convocados por la FCDS. Los conocimientos generados durante los talleres han permitido identificar las aplicaciones tecnológicas innovadoras más relevantes para Panamá que corresponden al tema de la GESTIÓN DEL AGUA; en las que las tecnologías convergentes o emergentes (NIBC: Nano, Info, Bio y Cogno) inciden de manera especial.

**Palabras claves:** Prospectiva; Método Delphi, Vigilancia tecnológica, gestión del agua, Tecnologías convergentes o emergentes (NIBC).

objective of the consultancy has been apply the appropriate methodologies for the conducting of foresight workshops, according with the issues previously identified and with the participation of experts in WATER MANAGEMENT issue gathered by the FCDS. The knowledge generated during the workshops have identified the most relevant to Panama innovative technological applications for the issue of WATER MANAGEMENT, in which the converging or emerging technologies (NIBC: Nano, Info, Bio and Cogno) affect in special way.

**Keywords:** Delphi Methodology, Foresight, Technology watch, Water management, Converging or emerging technologies (NIBC).

## 1. Introducción

El presente estudio es desarrollado a partir de una iniciativa de la Fundación Ciudad del Saber (FCDS) de Panamá, la cual convoca a un grupo de expertos metodológicos en el tema de prospectiva. Como resultado de esta convocatoria se crea un equipo multinacional conformado por tres instituciones: La Empresa IALE Tecnología de España y Chile, la Universidad de Medellín y la Universidad Pontificia Bolivariana – Medellín, ambas universidades colombianas, para la realización de un estudio de Futuro en el tema de “La Gestión del Agua tomando como horizonte el año 2040”.

Es importante destacar, la gran amplitud temática que implica el término “Gestión del Agua” la cual, se estableció, como una aproximación al tema basada en aspectos ligados a su afectación por parte de los ámbitos del conocimiento conocidos como “tecnologías convergentes o emergentes” (NIBC: Nano, Info, Bio y Cogno). De esta manera, tomando en consideración el devenir de la ciencia y la tecnología durante los últimos años, se han podido derivar las principales tendencias de futuro previsible, además de identificar la estructura del conocimiento asociada a la Gestión del Agua.

## 2. Antecedentes

El presente documento describe el trabajo desarrollado por el equipo multinacional responsable del estudio, compuesto por expertos consultores de Colombia (la Universidad Pontificia Bolivariana y la Universidad de Medellín), España y Chile (Empresa IALE Tecnología). La propuesta se formuló originalmente en respuesta a los Términos de Referencia establecidos por la Vicepresidencia de Investigación y Formación de la Fundación Ciudad del Saber (FCDS).

Bajo este contexto, se han aplicado las metodologías adecuadas para la conducción de talleres de prospectiva, de acuerdo a los temas (Gestión del Agua, Educación y Salud), los cuales han sido previamente identificados y han contado con la participación de expertos en cada tema convocados por la FCDS. En este artículo se presentan los resultados del estudio prospectivo desarrollado en el tema de la Gestión del Agua.

## 3. Marco de referencia

### 3.1. El método Delphi

El método Delphi es un método sistemático e interactivo en el que participa un panel de expertos independientes, a través de una serie de opiniones en comunicación anónima y con retroalimentación; es flexible y sirve para enriquecer consensos, en el método los juicios u opiniones de los expertos, son resumidos y enviados de nuevo con el fin de refinar el problema

en un rango variado de campos (Helmer y Rescher, 1959). Según Steurer (2011), el método Delphi consiste en "una serie de procesos grupales estructurados para sondear la opinión de expertos y llegar a una respuesta del grupo. De acuerdo con Rowe y Wright (1999), el método Delphi tiene cuatro características: anonimato, interacción, retroalimentación controlada y agregación estadística de un grupo de respuestas.

Algunos autores afirman que el método Delphi tuvo sus inicios entre 1940 y 1960, de igual manera, que su origen se debe *Research and Development Corporation* (RAND Corporation) y otros afirman que se originó a partir de un estudio de la guerra fría para identificar posibles objetivos industriales estadounidenses y su vulnerabilidad a las municiones soviéticas (Nielsen y Thangadurai, 2007; Landeta, 2006; Dalkey y Helmer, 1963; Fletcher y Marchildon, 2014; Rowe y Wright, 1999; Linstone y Turoff, 1975).

## **3.2. Vigilancia tecnológica**

El término vigilancia se asocia más con las acciones de observación, captación de información y análisis de la misma para convertir señales dispersas en tendencias y recomendaciones para tomar decisiones (COTEC, 1999). Particularmente durante la década de los noventa del siglo pasado, se notó el desarrollo de este enfoque desde el punto de vista conceptual y el desarrollo de herramientas por parte de los países francófonos (principalmente Francia y Canadá). Los cuales tuvieron su mayor aplicación desde la vigilancia tecnológica. Bajo este contexto, autores como Martinet y Ribault (1989), Jakobiak (1991), Lesca (1994), Werner y Degoul (1995), Martinet y Marti (1995), Rouach (1996) entre otros, defienden que en los países francófonos se acepta el término vigilancia tecnológica, vigilancia estratégica, "veille", como el conjunto de las etapas desde la captación de información hasta la utilización de la misma con mayor valor, para fines estratégicos.

Un enfoque estructurado que define las fuerzas o factores críticos que se deberán vigilar por parte de la empresa, lo establecen Martinet y Ribault (1989) a partir del Modelo de Porter (1985) donde se identifican las fuerzas que caracterizan la posición competitiva de una empresa a partir de factores determinantes como los clientes, los proveedores, los competidores, los competidores potenciales, y los productos sustitutos. Bajo este enfoque los autores, hablan de los siguientes cuatro tipos de vigilancia: Tecnológica, Competitiva, Comercial y del Entorno.

Desde el punto de vista normativo en el ámbito internacional, existen desarrollos representativos en el tema de la vigilancia en países como Francia con su norma titulada *Prestations de veille et prestations de mise en place d'un système de veille*, AFNOR (1998). También en España en 2006 se desarrolla la norma experimental titulada: *Gestión de la I+D+i: Sistema de Vigilancia Tecnológica*, AENOR (2006) y posteriormente se ha publicado la norma titulada: *Gestión de la I+D+i: Sistema de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva*, AENOR (2011). Ambas como una línea de base para el desarrollo de esta disciplina de forma sistemática en las organizaciones en el marco de sus sistemas de gestión de la I+D+i.

## **3.3. Gestión del Agua**

Rosegrant, Cline, & Valmonte-Santos (2010), tratan el tema de gestión del agua desde una perspectiva global, identificando algunas megatendencias y aspectos emergentes. Los autores, abordan el problema que plantea el suministro de alimentos en un mundo cada vez más sobrepoblado, lo cual implica sistemas de irrigación más eficientes. Los autores afirman que algunos de estos retos están siendo abordados por lo que se llama el ABC del agua: acuicultura, biotecnología y cambio climático. Pero las soluciones siempre pasan por la necesidad de cambios fundamentales en la gestión de este recurso vital. De igual manera, destacan que, el rol de la biotecnología en la calidad y en la gestión del agua, se puede identificar en cuatro aspectos:

- 1.- Nuevos métodos biotecnológicos para purificación de agua que eran inaplicables de manera práctica;
- 2.- Procesos con tecnologías integradas en las que la biotecnología reemplaza a la química;
- 3.- Desarrollo de herramientas para la recuperación de tierras degradadas; y
- 4.- Mejoramiento de la calidad del agua.

Por su parte, también en biotecnología, Ortíz & Sierra (2011), determinan los principales roles de las TIC en la gestión del agua, presentados en cuatro categorías, como sigue:

- 1.- Cartografía de recursos hídricos y predicción meteorológica;
- 2.- Gestión activa para la red de distribución de aguas;
- 3.- Establecimiento de sistemas de alarma anticipada y respuesta a la demanda de agua en ciudades del futuro; y
- 4.- Regadío "justo a tiempo" en la agricultura y paisajismo.

Omaliko (2003), destaca algunas técnicas que pueden ayudar a gestionar los problemas del agua en Nigeria, tales como: sequias, contaminación, desertificación, etc. Entre las que destaca el autor se encuentran:

- 1.- PCR (Polimerasa chain reactios technique): Es una técnica que sirve para monitorear la calidad del agua de consumo y usos domésticos.
- 2.- Biorremediación / bioaumentación: Relacionada con el uso de microorganismos para el tratamiento de aguas contaminadas.
- 3.- Tratamiento biológico de efluentes: Es decir, el uso de medios microbiológicos para tratamiento de efluentes industriales, urbanos y rurales.
- 4.- Ingeniería genética y tecnología recombinante DNA: Que tiene que ver con el desarrollo de cultivos transgénicos resistentes a las sequias y otras condiciones adversas.

Por su parte, Boudon (2010), presenta los siguientes temas relevantes en relación con las aplicaciones TIC en la gestión del agua: *Real Time Monitoring*; *Cities of tomorrow*; *Asset management*; y *Energy efficiency*.

En relación con la gestión inteligente del agua, Sempere (2013), trata el tema a nivel de la urbanización del mundo, haciendo énfasis en la potencial aplicación de las TIC para gestionar la gran cantidad de información generada en una ciudad, que pueden facilitar las tareas de operación, mantenimiento y gestión, en un contexto de desarrollo sostenible y eficiente de las ciudades.

Al revisar el tema de la dinámica de la innovación en la gestión del agua, autores como Wehn & Montalvo (2015), proponen una clasificación temática:

Generación y aplicación de innovaciones relacionadas con el agua;

Actividades de I+D en agua;

Sistemas de innovación en agua: aprendizaje, innovación y construcción de competencias;

Estrategias nacionales para el desarrollo de capacidades en innovación en agua;

Habilidades, aprendizaje organizacional y gestión del conocimiento para la innovación en agua;

Innovaciones sociales relacionadas con el agua;

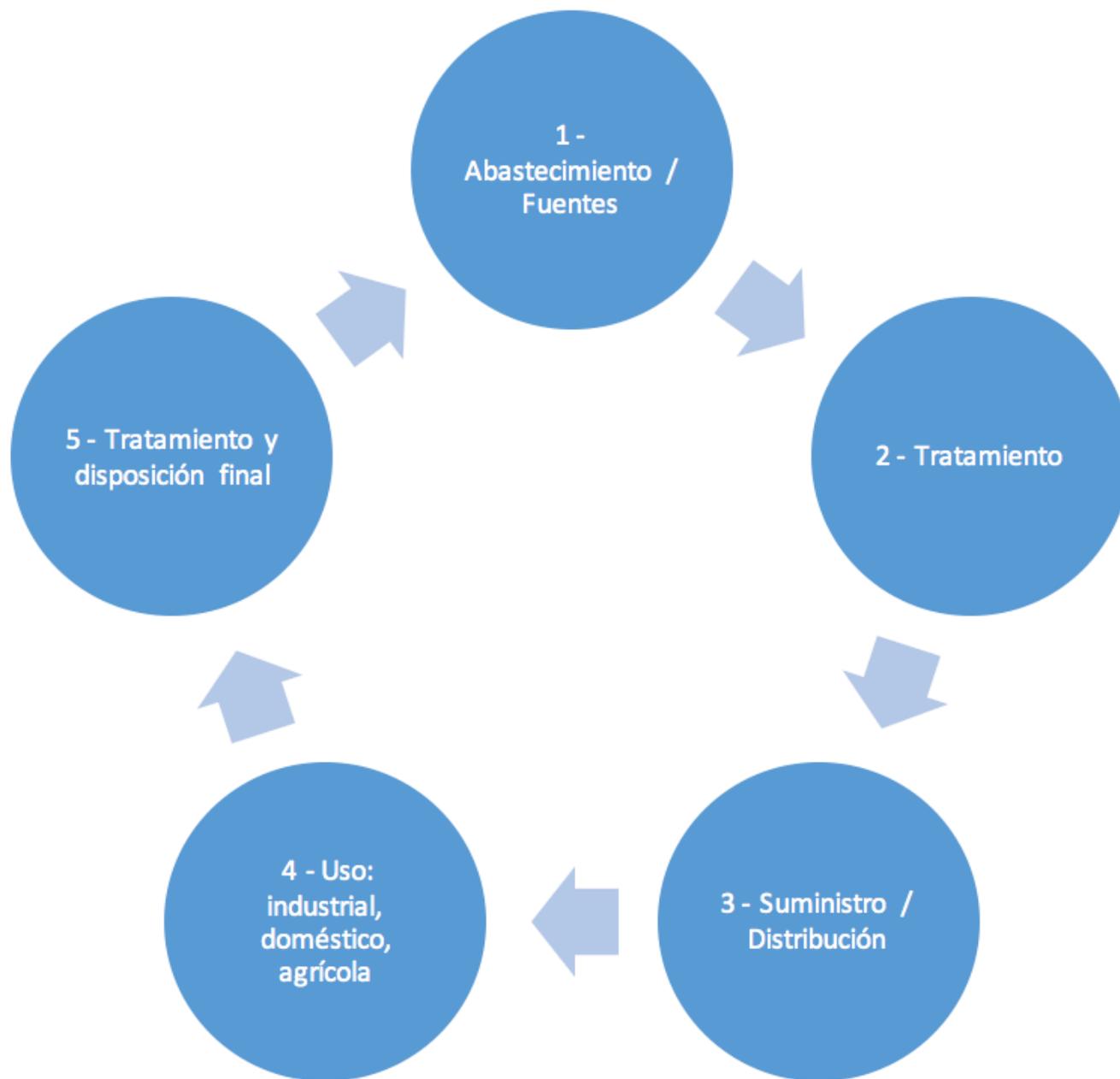
Implicaciones de las TIC en el agua: efectos de las TIC más allá de los campos ya tradicionales como son: sensores, monitoreo y medición inteligente, observatorios ciudadanos, modelación.

En cuanto a la perspectiva específica del agua en Panamá, Soto (2010) señala la red hidrográfica alrededor del Canal, en la que se incluyen 47 ríos y tres lagos artificiales. El agua de esta red es utilizada principalmente para navegación (58%) y también para consumo doméstico (7%), generación eléctrica (2,5%), agricultura, producción industrial, pesca y recreación, así como para actividades de investigación.

El contraste entre la abundancia del recurso hídrico en Panamá, y su alta vulnerabilidad a los efectos asociados al cambio climático (fenómenos del Niño y de la Niña, posibilidades de tsunamis, terremotos, deslizamientos de tierra, lluvias fuertes, etc.), dan lugar a conflictos en el uso del agua (agricultura vs. hidrogenación, por ejemplo). Este es un factor de riesgo que se debe prevenir mediante la disponibilidad de información que pueda ser utilizada para tomar decisiones coherentes y acertadas (Adaptation Fund, 2013).

Se puede concluir a partir de esta información, una estructura típica de la cadena de valor del agua, desde la perspectiva de su gestión, y con base en dicha estructura, ubicar las diferentes tendencias de los temas asociados a la gestión del agua y su vinculación con los dinamizadores tecnológicos (bio-nano-TIC), representada por la figura 1.

Figura 1. Cadena de valor del agua



Fuente: Elaboración propia

## 4. Metodología

Para la definición de los temas objeto de estudio por parte de la Fundación Ciudad del Saber (FCDS) de Panamá, se llevaron a cabo varios talleres de dinamización con expertos locales, lo cual facilitó la decisión de desarrollar tres ejercicios prospectivos en los siguientes temas prioritarios para Panamá: Gestión del Agua, Educación y Salud.

El desarrollo del estudio prospectivo para el tema de la Gestión del Agua aplicando toda la metodología planteada, ha sido ejecutado en un periodo de 10 semanas comprendidas entre el

mes de agosto y noviembre de 2016.

La metodología utilizada por el equipo multinacional responsable de la realización del estudio, implicó el desarrollo de las siguientes fases: Estudio documental y de tendencias; Estudio de vigilancia tecnológica; Consulta Prospectiva e Informes técnicos. Más información detallada sobre la metodología aplicada se puede consultar en la página web de la Fundación Ciudad del Saber. [10]

La selección de expertos temáticos para desarrollar el estudio prospectivo en el tema de la Gestión del Agua, tuvo en cuenta criterios como: representar el sector universidad, empresa y/o estado, años de experiencia en el área, estudios realizados en el área, entre otros. Para este estudio fueron convocados un total de 75 expertos en la sede de la "Fundación Ciudad del Saber" en la ciudad de Panamá, de los cuales 41 expertos en el tema del agua han participado de manera efectiva.

La Construcción del cuestionario para la primera ronda Delphi de este estudio, conto con 61 temas generados desde el estudio de vigilancia tecnológica y organizados en 6 agrupadores (Fuentes de abastecimiento; Tratamiento/pretratamiento; Suministro / distribución; Uso: Industrial / Doméstico / Agrícola; Tratamiento y disposición final y Gestión en general). A partir de los resultados obtenidos en la primera ronda Delphi, con los temas relacionados con la Gestión del Agua, clasificados por los expertos como prioritarios, no prioritarios y en discusión, se construyó la segunda ronda Delphi para el análisis de los mismos. (Zartha, et al, 2015), Bajo este contexto y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las dos rondas, se hizo el análisis estadístico para determinar aquellos temas que serán fundamentales al 2040 en la GESTIÓN DEL AGUA para Panamá.

---

## 5. Resultados y discusión asociados a la gestión del agua

Para poder llegar a resultados confiables el equipo consultor internacional definió una hoja de ruta que contempló la construcción del árbol tecnológico, el cual hace referencia al conglomerado de temas resultantes de la vigilancia tecnológica realizada por la Empresa IALE Tecnología, la búsqueda se realizó en bases de datos científicas, esta etapa es de vital importancia en un estudio Delphi debido a que es el primer acercamiento que se tiene de los temas de interés en el estudio, permitiendo así analizar toda la información científico-tecnológica que sirve de apoyo en los procesos de toma de decisiones. Bajo este contexto, Los agrupadores fueron propuestos por el Equipo Consultor, los cuales fueron validados por personal de la Fundación Ciudad del Saber.

Los expertos participantes en los talleres fueron invitados por la fundación ciudad del saber, teniendo en cuenta que debía haber representación de universidades, empresas y entidades gubernamentales, para este ejercicio se contó con la participación de 41 expertos (Zartha, et al 2014). La construcción del cuestionario, se realizó con base en el árbol de temas, tecnologías, innovaciones para cada agrupador. Este cuestionario tiene los siguientes elementos: Título, Logo(s), Objetivo del estudio, Fecha de diligenciamiento, Información general del experto, la escala de calificación utilizada fue Likert (Imagen 1).

Imagen 1. Instrumento Ronda 1 Delphi



Real time water balance - Balance del agua en tiempo real	<b>48%</b>	<b>Prioritario</b>
Integration of meterological information - Integración de información meterológica	<b>38%</b>	<b>Discusión</b>
Mapping of water resources - Mapeado de recursos hídricos	<b>43%</b>	<b>Prioritario</b>
Climate prediction - Predicción climática	<b>43%</b>	<b>Prioritario</b>
Weather forecasting - Pronóstico del clima	<b>45%</b>	<b>Prioritario</b>
Remoting sensing data in GIS environmental - Detección remota de datos en ambiente GIS	<b>30%</b>	<b>Discusión</b>
<b>TRATAMIENTO / PRETRATAMIENTO</b>	<b>% CONSENSO</b>	<b>DECISIÓN</b>
<b>BIOTECHNOLOGY – BIOTECNOLOGÍA</b>		
Bioremediation – Biorremediación	<b>25%</b>	<b>Discusión</b>
Biotreatment – Biotratamiento	<b>33%</b>	<b>Prioritario</b>
Key remediation organism - Organismo clave para remediación	<b>30%</b>	<b>Prioritario</b>
Scaling-up microbial processes - Escalamiento de procesos microbianos	<b>30%</b>	<b>Prioritario</b>
Bioaugmentation – Bioaumentación	<b>25%</b>	<b>N</b>
Biosensors – Biosensores	<b>33%</b>	<b>Prioritario</b>
<b>TIC</b>		
Real time quality management - Gestión de calidad en tiempo real	<b>35%</b>	<b>Prioritario</b>
Sensor at all point of use (POU) - Detección en todos los puntos de uso	<b>35%</b>	<b>Prioritario</b>
<b>NANOTECHNOLOGY - NANOTECNOLOGÍA</b>		
Carbon based nano-adsorbents - Nanoabsorbentes de carbono	<b>23%</b>	<b>N</b>
Heavy metal removal - Remoción de metales pesados	<b>30%</b>	<b>Prioritario</b>

Reactive nano-adsorbents High permeability thin film nanocomposite membranes - Nano absorbentes reactivos, membranas delgadas nanocompuestas con alta permeabilidad	<b>33%</b>	<b>N</b>
Anti-biofouling membrane - Membrana anti-biofouling (anti-incrustante)	<b>23%</b>	<b>N</b>
Aligned carbon nanotube membranes - Membranas de nanotubos de carbón alineadas	<b>25%</b>	<b>N</b>
Aquaporin membranes - Membranas de acuaporina	<b>23%</b>	<b>N</b>
Composite membranes - Membranas de composites (materiales compuestos)	<b>25%</b>	<b>N</b>
Nanofiltration – Nanofiltración	<b>25%</b>	<b>N</b>
Electrochemical detection AND noble metal nanoparticles - Detección electroquímica con nanopartículas de metales nobles	<b>38%</b>	<b>N</b>
Purification AND magnetic nanoparticles - Purificación con nanopartículas magnéticas	<b>15%</b>	<b>N</b>
Trace contamination - Detección de trazas de contaminación	<b>48%</b>	<b>Prioritario</b>
<b>SUMINISTRO / DISTRIBUCIÓN</b>	<b>% CONSENSO</b>	<b>DECISIÓN</b>
<b>TIC</b>		
Automated meter Reading systems (AMR) - Sistemas de medición automáticos o automatizados	<b>43%</b>	<b>Prioritario</b>
Smart pipes - Tuberías inteligentes	<b>40%</b>	<b>Prioritario</b>
Grid Sensors OR wiki sensors - Redes de sensores OR wiki sensors	<b>30%</b>	<b>Discusión</b>
Sensors at all point of use (POU) - Sensores en todos los puntos de uso	<b>35%</b>	<b>Discusión</b>
Wireless sensors - Sensores inalámbricos	<b>40%</b>	<b>Prioritario</b>
Real time monitoring (AMR) - Monitoreo en tiempo real	<b>38%</b>	<b>Prioritario</b>
Real time network monitoring (RTNM) - Red de monitoreo	<b>33%</b>	<b>Discusión</b>

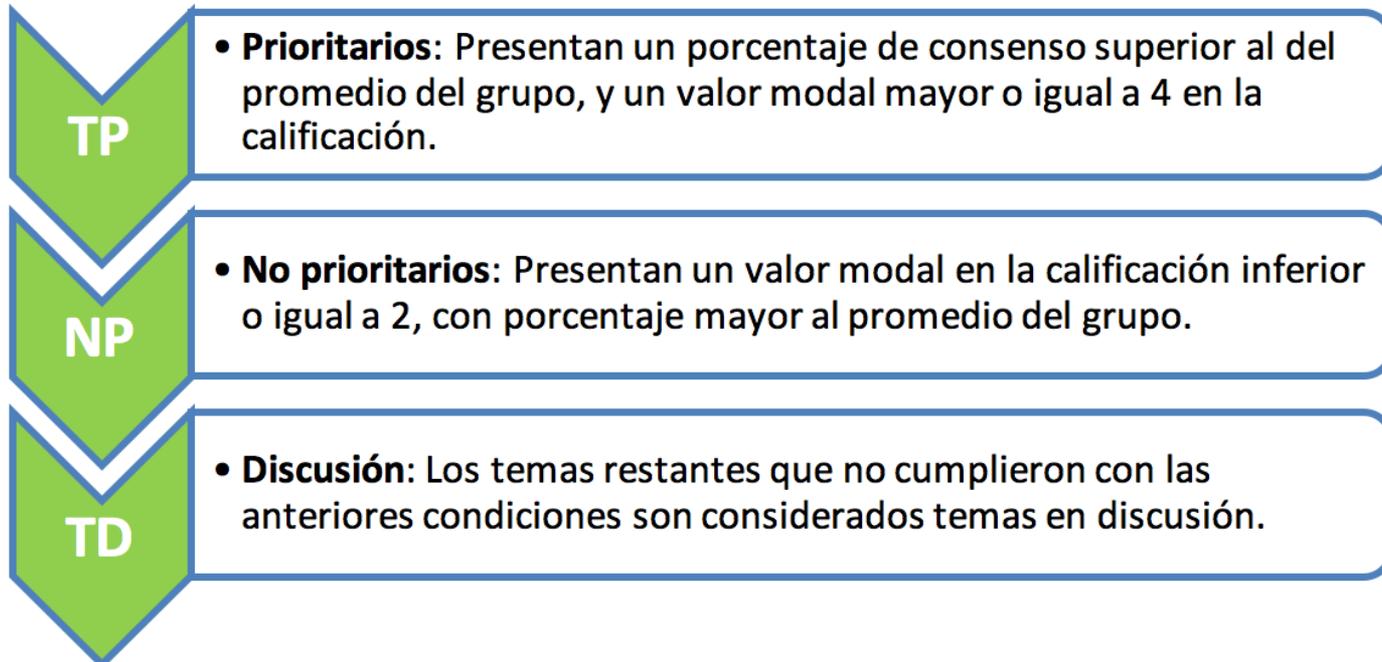
en tiempo real		
SCADA - Sistema de supervisión, control y adquisición de datos	<b>45%</b>	<b>Prioritario</b>
<b>NANOTECHNOLOGY - NANOTECNOLOGÍA</b>		
Optical detection AND quantum dots	<b>33%</b>	<b>N</b>
<b>USO: INDUSTRIAL / DOMÉSTICO / AGRÍCOLA</b>	<b>% CONSENSO</b>	<b>DECISIÓN</b>
<b>BIOTECHNOLOGY – BIOTECNOLOGÍA</b>		
Genetic engineering to develop crops resistant - Ingeniería genética para desarrollo de cultivos resistentes	<b>33%</b>	<b>Discusión</b>
<b>TIC</b>		
Decision support systems - Sistemas de asistencia a la toma de decisiones	<b>48%</b>	<b>Prioritario</b>
Data acquisition - Adquisición de datos	<b>35%</b>	<b>Discusión</b>
Automated meter Reading systems (AMR) - Sistemas de monitoreo automatizado	<b>43%</b>	<b>Prioritario</b>
Automated meter management systems - Gestión de sistemas automatizados de medición	<b>35%</b>	<b>Discusión</b>
Real time leak detection - Detección de fugas o pérdidas en tiempo real	<b>43%</b>	<b>Prioritario</b>
Real time network monitoring (RTNM) - Red de monitoreo en tiempo real	<b>40%</b>	<b>Discusión</b>
Smart water networks - Redes inteligentes de distribución de agua	<b>53%</b>	<b>Prioritario</b>
Smart real time water management - Gestión inteligente en tiempo real del agua	<b>33%</b>	<b>Discusión</b>
<b>TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL</b>	<b>% CONSENSO</b>	<b>DECISIÓN</b>
<b>BIOTECHNOLOGY – BIOTECNOLOGÍA</b>		
Bioremediation – Bioremediación	<b>33%</b>	<b>Discusión</b>
Biotreatment – Biotratamiento	<b>40%</b>	<b>Prioritario</b>

Biologic effluent treatment - Tratamiento biológico de efluentes	<b>28%</b>	<b>Discusión</b>
Microbial stability in biotreatment systems - Estabilidad microbiana en sistemas de biotratamiento	<b>30%</b>	<b>N</b>
Biosensors – Biosensores	<b>38%</b>	<b>Prioritario</b>
<b>NANOTECHNOLOGY - NANOTECNOLOGÍA</b>		
Disinfection and microbial control - Desinfección y control microbiano	<b>30%</b>	<b>Discusión</b>
Point of Use (POU) water disinfection - Desinfección del agua en el punto de uso	<b>38%</b>	<b>Prioritario</b>
Anti-biofouling Surface - Superficie anti-biofouling (anti-incrustante)	<b>28%</b>	<b>N</b>
Trace contamination detection - Detección de trazas de contaminantes	<b>30%</b>	<b>Discusión</b>
<b>GESTIÓN EN GENERAL</b>	<b>% CONSENSO</b>	<b>DECISIÓN</b>
<b>TIC</b>		
SCADA - Sistema de supervisión, control y adquisición de datos	<b>35%</b>	<b>Discusión</b>
Decision support systems - Sistemas de asistencia a la toma de decisiones	<b>38%</b>	<b>Discusión</b>
Simulation algoritms - Algoritmos de simulación	<b>30%</b>	<b>Discusión</b>
Smart water management - Gestión inteligente del agua	<b>50%</b>	<b>Prioritario</b>

Los datos obtenidos y mostrados en la tabla 2, son claves en este proceso, ya que estos temas fueron los que pasaron a la segunda ronda Delphi, donde los expertos tomaban la decisión de considerar si los temas prioritarios continuaban como prioritarios o no y que temas de aquellos que estaban en discusión pasaban a ser prioritarios.

De esta manera, los criterios utilizados en la selección para que un tema sea prioritario, no prioritario y discusión se observan en la figura 2.

**Figura 2.** Criterios para temas Prioritarios, No prioritarios y en Discusión.



Fuente: Elaboración Propia

Luego de contar con los temas prioritarios de la primera ronda se procedió a la construcción y envío de la segunda ronda Delphi la cual buscó retroalimentar los resultados obtenidos en la primera ronda, debido a que en esta etapa se le solicitó al experto que al momento de diligenciar la encuesta argumentara los temas que él consideraba prioritarios o no prioritarios.

Después de recibir la segunda ronda Delphi debidamente diligenciada, se procedió a realizar el análisis estadístico donde se utilizaron las técnicas estadísticas descritas para la primera ronda. En este caso, se calculó la frecuencia modal 2 (Fm2), permitiendo de esta forma obtener los temas prioritarios, la ecuación utilizada fue la siguiente:

$$Fm2 = Fm1 + Er2 - Sr2$$

Donde:

Fm1: Frecuencia modal alcanzada en la primera ronda por tema

Er2: Número de expertos que entran al consenso de la segunda ronda por tema

Sr2: Número de expertos que salen del consenso de la segunda ronda por tema

## 5.1. Resultados de la segunda ronda Delphi

Los resultados obtenidos en la segunda ronda son mostrados en la Tabla 2, allí se encuentran los temas que fueron ganadores para el método Delphi.

**Tabla 2.** Temas ganadores en el método Delphi

<b>FUENTES DE ABASTECIMIENTO</b>	<b>DECISIÓN Primera Ronda</b>	<b>DECISIÓN Segunda Ronda</b>	<b>Temas Ganadores en el Método Delphi</b>
<b>BIOTECHNOLOGY – BIOTECNOLOGÍA</b>			
Biosensors – Biosensores	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
<b>TIC</b>			

Monitoring water - Monitoreo del agua	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Monitoring and control information systems - Sistemas de monitoreo y control de información	<b>Discusión</b>	<b>Prioritario</b>	
Risk assessment - Evaluación de riesgos	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Prediction models - Modelos de predicción	<b>Discusión</b>	<b>Prioritario</b>	
Real time water balance - Balance del agua en tiempo real	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Integration of meteorological information - Integración de información meteorológica	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
Mapping of water resources - Mapeado de recursos hídricos	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Climate prediction - Predicción climática	<b>Prioritario</b>	<b>Discusión</b>	
Weather forecasting - Pronóstico del clima	<b>Prioritario</b>	<b>Discusión</b>	
Remoting sensing data in GIS environmental - Detección remota de datos en ambiente GIS	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
Uso de Inteligencia Colectiva Ciudadana con Apps para alerta temprana		<b>9</b>	23%
<b>TRATAMIENTO / PRETRATAMIENTO</b>	<b>DECISIÓN</b>	<b>DECISIÓN Segunda Ronda</b>	
<b>BIOTECHNOLOGY – BIOTECNOLOGÍA</b>			
Bioremediation – Biorremediación	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
Biotreatment – Biotratamiento	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Key remediation organism - Organismo clave para remediación	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Scaling-up microbial processes - Escalamiento de procesos microbianos	<b>Prioritario</b>	<b>Discusión</b>	
Bioaugmentation – Bioaumentación	<b>N</b>	<b>N</b>	
Biosensors – Biosensores	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
<b>TIC</b>			

Real time quality management - Gestión de calidad en tiempo real	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Sensor at all point of use (POU) - Detección en todos los puntos de uso	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
<b>NANOTECHNOLOGY - NANOTECNOLOGÍA</b>			
Carbon based nano-adsorbents - Nanoabsorbentes de carbono	<b>N</b>	<b>N</b>	
Heavy metal removal - Remoción de metales pesados	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Reactive nano-adsorbents High permeability thin film nanocomposite membranes - Nano absorbentes reactivos, membranas delgadas nanocompuestas con alta permeabilidad	<b>N</b>	<b>N</b>	
Anti-biofouling membrane - Membrana anti-biofouling (anti-incrustante)	<b>N</b>	<b>N</b>	
Aligned carbon nanotube membranes - Membranas de nanotubos de carbón alineadas	<b>N</b>	<b>N</b>	
Aquaporin membranes - Membranas de acuaporina	<b>N</b>	<b>N</b>	
Composite membranes - Membranas de composites (materiales compuestos)	<b>N</b>	<b>N</b>	
Nanofiltration – Nanofiltración	<b>N</b>	<b>N</b>	
Electrochemical detection AND noble metal nanoparticles - Detección electroquímica con nanopartículas de metales nobles	<b>N</b>	<b>N</b>	
Purification AND magnetic nanoparticles - Purificación con nanopartículas magnéticas	<b>N</b>	<b>N</b>	
Trace contamination - Detección de trazas de contaminación	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Puntos pilotos		<b>5</b>	13%
<b>SUMINISTRO / DISTRIBUCIÓN</b>	<b>DECISIÓN</b>	<b>DECISIÓN Segunda Ronda</b>	
<b>TIC</b>			
Automated meter Reading systems (AMR) - Sistemas de medición automaticos o automatizados	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	

Smart pipes - Tuberías inteligentes	<b>Prioritario</b>	<b>Discusión</b>	
Grid Sensors OR wiki sensors - Redes de sensores OR wiki sensors	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
Sensors at all point of use (POU) - Sensores en todos los puntos de uso	<b>Discusión</b>	<b>Prioritario</b>	
Wireless sensors - Sensores inalámbricos	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Real time monitoring (AMR) - Monitoreo en tiempo real	<b>Prioritario</b>	<b>Discusión</b>	
Real time network monitoring (RTNM) - Red de monitoreo en tiempo real	<b>Discusión</b>	<b>Prioritario</b>	
SCADA - Sistema de supervisión, control y adquisición de datos	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
<b>NANOTECHNOLOGY - NANOTECNOLOGÍA</b>			
Optical detection AND quantum dots	<b>N</b>	<b>N</b>	
<b>Sugerencias:</b> En caso de que exista un tema que considere importante agregar y que no está en el cuestionario, puede utilizar el espacio para incluirlo.			
<b>USO: INDUSTRIAL / DOMÉSTICO / AGRÍCOLA</b>	<b>DECISIÓN</b>	<b>DECISIÓN Segunda Ronda</b>	
<b>BIOTECHNOLOGY – BIOTECNOLOGÍA</b>			
Genetic engineering to develop crops resistant - Ingeniería genética para desarrollo de cultivos resistentes	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
<b>TIC</b>			
Decision support systems - Sistemas de asistencia a la toma de decisiones	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Data acquisition - Adquisición de datos	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
Automated meter Reading systems (AMR) - Sistemas de monitoreo automatizado	<b>Prioritario</b>	<b>Discusión</b>	
Automated meter management systems - Gestión de sistemas automatizados de medición	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
Real time leak detection - Detección de fugas o pérdidas en	<b>Prioritario</b>	<b>Discusión</b>	

tiempo real			
Real time network monitoring (RTNM) - Red de monitoreo en tiempo real	<b>Discusión</b>	<b>Prioritario</b>	
Smart water networks - Redes inteligentes de distribución de agua	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Smart real time water management - Gestión inteligente en tiempo real del agua	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
USO DE MARCADORES ISOTÓPICOS PARA DETERMINAR FLUJOS DE AGUA Y BUDGETS		<b>1</b>	3%
<b>TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL</b>	<b>DECISIÓN</b>	<b>DECISIÓN Segunda Ronda</b>	
<b>BIOTECHNOLOGY – BIOTECNOLOGÍA</b>			
Bioremediation – Bioremediación	<b>Discusión</b>	<b>Prioritario</b>	
Biotreatment – Biotratamiento	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Biologic effluent treatment - Tratamiento biológico de efluentes	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
Microbial stability in biotreatment systems - Estabilidad microbiana en sistemas de biotratamiento	<b>N</b>	<b>N</b>	
Biosensors – Biosensores	<b>Prioritario</b>	<b>Discusión</b>	
<b>NANOTECHNOLOGY - NANOTECNOLOGÍA</b>			
Disinfection and microbial control - Desinfección y control microbiano	<b>Discusión</b>	<b>Prioritario</b>	
Point of Use (POU) water disinfection - Desinfección del agua en el punto de uso	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Anti-biofouling Surface - Superficie anti-biofouling (anti-incrustante)	<b>N</b>	<b>N</b>	
Trace contamination detection - Detección de trazas de contaminantes	<b>Discusión</b>	<b>Prioritario</b>	
<b>Sugerencias:</b> En caso de que exista un tema que considere importante agregar y que no está en el cuestionario, puede utilizar el espacio para incluirlo.			

<b>GESTIÓN EN GENERAL</b>	<b>DECISIÓN</b>	<b>DECISIÓN Segunda Ronda</b>	
<b>TIC</b>			
SCADA - Sistema de supervisión, control y adquisición de datos	<b>Discusión</b>	<b>Prioritario</b>	
Decision support systems - Sistemas de asistencia a la toma de decisiones	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
Simulation algorithms - Algoritmos de simulación	<b>Discusión</b>	<b>Discusión</b>	
Smart water management - Gestión inteligente del agua	<b>Prioritario</b>	<b>Prioritario</b>	
Generación Atmosférica de Agua (Captación de la humedad)		<b>3</b>	8%

A partir de la tabla 2, es clave para la toma de decisiones, destacar y tener en cuenta aquellos temas que fueron prioritarios en ambas rondas, es decir hubo un consenso entre los expertos con respecto a estos temas en cada agrupador. De igual manera, es importante revisar aquellos temas que en principio fueron prioritarios y pasaron a discusión y viceversa.

Los temas prioritarios resultado del análisis de la segunda ronda Delphi son el insumo fundamental al momento de generar rutas para llegar a una imagen de futuro ya que nos permite encaminar las trayectorias para llegar a la imagen seleccionada como apuesta.

## 6. Conclusiones

El Método Delphi como estudio de futuro complementado con la vigilancia tecnológica, ha permitido obtener información de valor para la identificación de oportunidades tecnológicas y de innovación para un horizonte 2040 asociados a un tema prioritario para la sociedad panameña como es la GESTIÓN DEL AGUA a partir de la consulta a 41 expertos del sector productivo, sector académico y Gobierno panameño. Bajo este contexto, de acuerdo con los resultados del estudio y teniendo en cuenta criterios como el porcentaje de consenso y la moda, los subtemas o agrupadores prioritarios para Panamá al año 2040 asociados a la temática y que permiten identificar oportunidades tecnológicas y de innovación son:

<b>Subtemas prioritarios para Panamá al 2040</b>	<b>Posibles oportunidades tecnológicas y de innovación</b>
FUENTES DE ABASTECIMIENTO	Se requiere el desarrollo de soluciones asociadas a las tecnologías de la información y la comunicación que faciliten el monitoreo del agua, la evaluación de riesgos, el balance del agua en tiempo real y el mapeo de los recursos hídricos. Igualmente los expertos recomiendan el uso de la inteligencia colectiva ciudadana como un sistema de alerta temprana donde las Apps pueden servir de soporte.
	Desde las múltiples aplicaciones de la biotecnología se ha identificado la necesidad utilizar biosensores,

TRATAMIENTO / PRETRATAMIENTO	implementar sistemas de biotratamiento y organismos clave para remediación. Desde las tecnologías de la información y la comunicación se recomienda la implementación de sistemas de detección en todos los puntos de uso y la gestión de la calidad en tiempo real. Desde las soluciones en el ámbito de la nanotecnología se recomienda implementar sistemas para la detección de trazas de contaminación y remoción de metales pesados.
SUMINISTRO / DISTRIBUCIÓN:	Desde las tecnologías de la información y la comunicación es prioritario la búsqueda de soluciones en sensores inalámbricos, sistemas de supervisión, control y adquisición de datos y sistemas de medición automáticos o automatizados.
USO: INDUSTRIAL / DOMESTICO / AGRICOLA	Desde las tecnologías de la información y la comunicación se recomienda el uso de redes inteligentes de distribución de agua y sistemas de asistencia a la toma de decisiones. Igualmente se resalta la importancia del uso de marcadores isotópicos para determinar flujos de agua y budgets.
TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL	Se requiere el desarrollo de soluciones asociadas al ámbito de la biotecnología en sistemas de biotratamiento y desinfección del agua en el punto de uso.
GESTIÓN EN GENERAL	Como una solución desde las tecnologías de la información y la comunicación se recomienda el uso de sistemas para la gestión inteligente del agua.

Finalmente los resultados obtenidos desde la aplicación del método Delphi, como ejercicio prospectivo ha permitido la identificación oportunidades tecnológicas y de innovación y es una base en la construcción de información de valor para la toma de decisiones estratégicas alrededor de proyectos que contribuyan al desarrollo de Panamá.

## Referencias

AENOR, (2006), Norma UNE 166006 EX. Gestión de la I+D+i: sistema de vigilancia tecnológica. Asociación Española de Normas, Madrid.

AENOR, (2011), Norma UNE 166006. Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. Asociación Española de Normas, Madrid.

AFNOR, (1998), Norma NF XP X50-053. Prestations de veille et prestations de mise en place d'un système de veille. Francia.

Boudon, J. (2010). ICT for Water Management. Tentative list of needs.

- COTEC, F. (1999), *Vigilancia Tecnológica*. Gráficas Arias Montano, Madrid.
- Dalkey, N., Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science*, 9(3), 458-467.
- Fletcher, A., Marchildon, G. (2014). Using the Delphi Method for Qualitative, Participatory Action Research in Health Leadership.
- Helmer, O., Rescher, N. (1959). On the epistemology of the inexact science, *Management Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 5-52.
- Jakoviak, F. (1991), *Practice de la Veille technologique*. Les éditions d'organisation, Paris.
- Lesca, H. (1994), *Veille Stratégique, L'intelligence de l'entreprise*, Aster, Gières.
- Linstone, H., Turoff, M. (1975). Introduction. In H. A. Linstone & M. Turoff (Eds.), *The Delphi method: techniques and application* (pp. 3-16). London: Addison-Wesley.
- Martinet, B.; Ribault, J. M. (1989), *La veille technologique concurrentielle et commerciale, sources, méthodologie, organisation*, Les Editions d'Organisation, Paris.
- Martinet, B.; Marti, Y. (1995), *L'intelligence économique, les yeux et les oreilles de l'entreprise*, Les Editions d'Organisation, Paris.
- Nielsen, C., Thangadurai, M. (2007). Janus and the Delphi oracle: Entering the new world of international business research. *Journal of International Management*, 13, 147-163.
- Omaliko, C. (2003). The role of biotechnology in water resource and ecosystem management. 29th WEDC International Conference, (págs. 58-59). Abuja, Nigeria.
- Ortíz, V., & Sierra, R. (2011). *TIC y Gestión del Agua*. Idata Sistemas de Control.
- Porter, M. E. (1985), "Ventaja Competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior". CECSA, México. pp. 550.
- Rosegrant, M., Cline, S., & Valmonte-Santos, R. (2010). *Global Water and Food Security: Megatrends and Emerging Issues*. (C. R. al., Ed.) *Global Change: Impacts on water and food security*.
- Rouach, D. (1996), *La veille technologique et l'intelligence économique*, Presses Universitaires de France, Paris.
- Rowe, G., Wright, G. (1999). The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis.
- Sempere-Payá, V., Todolí-Derrandis, D., Santonja-Climent, S. (2013). *ICT as an Enabler to Smart Water Management*. Springer-Verlag. P.239-258
- Steurer, J. (2011), *The Delphi Method: an efficient procedure to generate knowledge*. *Skeletal Radiology* 40, 959-961.
- Wehn, U., & Montalvo, C. (2015). Exploring the Dynamics of Water Innovation. *Journal of Cleaner Production*, 87.
- Werner E.; Degoul, P. (1995), "La vigilancia tecnológica. Una nueva especialidad empresarial", *Mundo científico*, Vol. 14, No. 152, pp. 1078-1087.
- Zartha, J., Montes, J., Toro, I., Villada, H. (2014). Método Delphi - Propuesta para el cálculo del número de expertos en un estudio Delphi sobre empaques biodegradables al 2032. *Revista Espacios*. Vol 35, No 13.
- Zartha, J., Montes, J., Vargas, E., Gutierrez, E., Hoyos, J. (2015). Propuesta de Método Delphi en Políticas Públicas de Innovación. *Revista Espacios*. Vol 36, No 23.

- 
1. IALE Tecnología. [escorsa@iale.es](mailto:escorsa@iale.es)
  2. IALE Tecnología. [enric.iale@gmail.com](mailto:enric.iale@gmail.com)
  3. Universidad de Medellín. [jmontes@udem.edu.co](mailto:jmontes@udem.edu.co)
  4. Fundación Ciudad del Saber. [gayarza@cdspanama.org](mailto:gayarza@cdspanama.org)
  5. Universidad Pontificia Bolivariana [bibiana.arango@upb.edu.co](mailto:bibiana.arango@upb.edu.co)

6. IALE Tecnología. [jchaur@gmail.com](mailto:jchaur@gmail.com)

7. Universidad Pontificia Bolivariana. [rhernandez@uqvirtual.edu.co](mailto:rhernandez@uqvirtual.edu.co)

8. Instituto Tecnológico Metropolitano. [johnmorenosarta@gmail.com](mailto:johnmorenosarta@gmail.com)

9. [http://cdn.gestorsutil.com/CDS\\_web/628/documentos/docs/0463324001489518902.pdf](http://cdn.gestorsutil.com/CDS_web/628/documentos/docs/0463324001489518902.pdf)

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 43) Año 2017  
Indexada en Scopus, Google Schollar

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](mailto:webmaster)]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados