

IMPLANTACIÓN DE UN PLAN DE SEGURIDAD DEL AGUA EN UNA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Autores:

José Antonio Palomero González*, Francisco Bernat Quesada**, Patricia Soler Serena**

Universidad:

*Instituto Interuniversitario de Desarrollo Local – Universidad de Valencia

**EMIVASA (Empresa Mixta Valenciana del Agua) - Global Ómnium

Área Temática:

Sesión Especial de la gestión del agua en el marco de la economía circular

Resumen:

La Directiva 98/83/CE, y su transcripción a la legislación española en el Real Decreto 140/2003, establece los criterios sanitarios para que un agua se considere apta para el consumo humano con el fin de asegurar que el agua no suponga ningún riesgo para la salud. A su vez, con el objetivo de garantizar agua de calidad sin riesgo para la salud pública y mejorar la calidad del agua, la Organización Mundial de la Salud (OMS) crea los Planes de Seguridad del Agua (PSA). Una parte principal de los abastecimientos de agua son las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) donde la aplicación de un PSA ayuda a minimizar los riesgos y mejorar la calidad del agua. El objetivo de la comunicación es la implementación de un PSA en las ETAPs que abastecen a la ciudad de Valencia.

Palabras Clave:

Plan de Seguridad del agua; Potabilización; Calidad del Agua; Método Delphi

1-. Introducción

Los abastecimientos de agua están formados por las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP), las redes de distribución y, por último, las redes interiores de cada uno de los grifos de los usuarios. Las ETAPs son las instalaciones donde a través de un proceso físico-químico y una desinfección, se trata el agua bruta para que sea agua apta para el consumo humano. Este tratamiento depende de la calidad de agua bruta y siempre se debe cumplir la legislación vigente sobre calidad de las aguas de consumo humano.

La legislación en materia de calidad del agua vigente es la Directiva 98/83/CE, y su transcripción a la legislación española mediante el Real Decreto 140/2003. Ambas normativas tienen como objetivo la protección de la salud de las personas de los adversos derivados de cualquier tipo de contaminación del agua potable garantizando su salubridad y limpieza.

La responsabilidad del servicio de agua es municipal hasta el punto de entrega al consumidor. El municipio puede ejercer dicha responsabilidad de manera directa o indirecta. La legislación, tanto la europea como la española, marca que el punto de cumplimiento es el grifo utilizado por el consumidor. Un aspecto a destacar es que el consumidor es responsable de mantener su instalación interior con el fin de evitar variaciones en la calidad del agua de consumo como se recoge en el Artículo 4 del Real Decreto 140/2003.

Los parámetros de calidad del agua vienen regulados en el Artículo 5 tanto por la Directiva como por el Real Decreto. Actualmente, la legislación sólo obliga a hacer un análisis de control a la salida del tratamiento de potabilización para garantizar que el agua que se suministra a la red no presenta riesgo para la salud. Es por esto que la empresa deberá realizar controles a la salida de ETAPs, así como en los depósitos de regulación o cabeceras existentes. En este sentido, es la propia legislación quien marca el tipo y el número mínimo de analíticas que deben efectuarse.

Las empresas explotadoras pese a que actualmente sólo están obligadas a realizar un análisis de control a la salida de la ETAP de los parámetros que indica la legislación, también realizan análisis en la entrada de agua bruta con el fin de tener un control mayor sobre el proceso que llevan a cabo en las plantas y poder adaptar el tratamiento a su agua bruta con el fin de cumplir con la legislación vigente.

Los parámetros que actualmente marca la legislación son: olor, sabor, turbidez, color, conductividad, pH, amonio, "*Escherichia coli*" (E. coli) y bacterias coliformes. Además, según el tratamiento que se utilice, se pueden añadir parámetros como, por ejemplo, hierro o aluminio (según el floculante que se utilice); nitrito, cloro libre residual o cloro combinado residual (según se utilice se desinfecte mediante cloraminación o cloro) o el parámetro microbiológico "*Clostridium perfringens*" (incluidas las esporas). De la misma forma, la legislación exige la realización tanto de análisis de control como análisis completos, en la propia red de abastecimiento, con el objetivo de controlar y garantizar la calidad del agua del consumo en el abastecimiento.

Tanto la Directiva como el Real Decreto hacen hincapié en el control que se debe tener del proceso para garantizar que se cumplen los objetivos de calidad y seguridad. La Directiva destaca la importancia de controlar los subproductos derivados de la desinfección y su control siempre que no se ponga en peligro el efecto de la desinfección, mientras que el Real Decreto detalla cómo se debe realizar el control.

El Artículo 10 de la Directiva indica que se deben adoptar las disposiciones necesarias para garantizar la calidad del tratamiento, equipos y materiales. Por tanto, el Real Decreto detalla dónde y cómo realizar los muestreos y tipos de análisis a realizar. Los métodos de ensayos vienen determinados en el Anexo IV de Real Decreto. Los laboratorios donde se analicen las aguas de consumo deben estar certificados según la cantidad de análisis que realicen anualmente, y deberán implantar un sistema que asegure la calidad y que se valide por un externamente como se indica en el Artículo 16 del Real Decreto.

El Real Decreto, en su Artículo 17, regula el control de la calidad del agua. Este se debe realizar mediante el auto-control del agua de consumo humano, la vigilancia sanitaria y el control del agua del grifo del consumidor. En estos puntos de deben analizar los parámetros indicados en el Anexo I.

La frecuencia de muestro, según el Artículo 21, deberá ser representativo del abastecimiento o partes de éste, distribuidos uniformemente a lo largo de todo el año, tal y como indica el Anexo V, pudiendo ser ampliado cuando la autoridad sanitaria así lo determine para asegurar que no hay riesgo para la población.

El auto-control del agua de consumo humano lo debe realizar el gestor en los puntos que se indican en el Artículo 18 realizando los tipos de análisis que indican (examen organoléptico y análisis de control). Además deja la posibilidad de añadir otros puntos que los gestores consideren. Todos los datos del control de la calidad deben estar recogidos en soporte informático. La Vigilancia Sanitaria es responsabilidad de la autoridad sanitaria y consiste en análisis de control e informes anuales.

En los últimos años se ha producido un cambio importante en las demandas de los usuarios. Actualmente los ciudadanos solicitan que el agua potable tenga la máxima calidad, más allá de los niveles que la legislación exige; con acceso a toda la información disponible; y con la mayor transparencia. El agua, como bien de consumo no sustitutivo es un elemento indispensable en el día a día de los ciudadanos y, por tanto, su correcta gestión adquiere cada día mayor importancia con el fin de satisfacer a los usuarios.

Por ello, la Organización Mundial de la Salud (OMS), ante la necesidad de ofrecer un servicio integral para la gestión de los abastecimientos de agua y basándose en la metodología de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico de la industria alimentaria, desarrollan los Planes de Seguridad del Agua (PSA). La primera publicación de los PSA se encuentra en la tercera guía de la OMS Guías para la calidad del Agua Potable (World Health Organization, 2006, 2011; Matía et al., 2004; Matía et al., 2008; Ganzer-Martí et al., 2008).

Los PSA se definen como un planteamiento integral de evaluación de los riesgos y su gestión que abarca todas las etapas del sistema de abastecimiento cuya finalidad es garantizar la seguridad del agua suministrada. Las principales ventajas de un PSA son: se trata de planes de gestión exclusivos para los sistemas de abastecimientos; son compatibles con el resto de normas ISO y certificaciones; y presentan un planteamiento de gestión dinámico, iterativo y práctico (World Health Organization, 2006; Davidson et al., 2005; Bartram et al., 2009). Además de manera indirecta, supone un mayor control de la calidad ambiental de las masas de agua utilizadas como fuente de suministro del abastecimiento (Palomero-González et al., 2017).

En la literatura se encuentran diversos casos prácticos sobre la implantación de los PSA en diversos sistemas de abastecimientos muy distintos entre ellos: Australia, Reino Unido, American Latina y Caribe, España (Davidson et al., 2005; Bartram et al., 2009; Ganzer-Martí et al., 2011). Esto muestra que la implementación de un PSA es factible en cualquier sistema de abastecimiento en cualquier contexto global, además de ser un proceso adaptativo a la realidad de cada sistema de abastecimiento.

La implantación de un PSA requiere de recursos financieros, pero a la larga, su correcta gestión permite ahorrar dinero debido a un mejor aprovechamiento de los recursos, y un mejor conocimiento del sistema de abastecimiento (Davidson et al., 2005). Además, un factor aún más determinante es el apoyo de los responsables de la empresa para su correcta implantación para que no sea un mero documento vacío y carente de sentido práctico (Summerill et al., 2010).

Por último, destacar que un aspecto en el que coinciden los PSA y las normativas es en facilitar la información al consumidor sobre la calidad del agua de consumo de su municipio. Sin embargo, los PSA no sólo buscan informar al consumidor, sino que pretenden que todos los actores que intervienen en la gestión de los abastecimientos de agua estén correctamente informados entre ellos (Davidson et al., 2005; Bartram et al., 2009).

2-. Objetivos

El objetivo de la comunicación es la implementación de un PSA en las ETAPs de la ciudad de Valencia enfocado en el tratamiento de potabilización.

Como objetivo secundario se busca destacar las ventajas de la implantación de un PSA en la gestión de las ETAPs.

3. Método

Para poder implementar un PSA en un abastecimiento de agua hay que realizar las siguientes fases: creación un equipo multidisciplinar y adopción de una metodología de trabajo; análisis del sistema de abastecimiento; determinación de todos los peligros, riesgos, debilidades y fortalezas, y su evaluación; determinación de controles y/o medidas correctoras/preventivas para cada riesgo y su plan de monitoreo; aplicación de las mejoras del sistema para minimizar riesgos, debilidades y peligros; realización del muestreo para controlar la eficacia de las medidas implantadas, poder controlar el sistema y reevaluarlo; y por último mantenimiento de registros e informar al usuario (Davidson et al., 2005; Bartram et al., 2009).

La fase de mayor importancia para la implantación de un PSA es la de determinación y evaluación de los riesgos. Para ello, se evalúa el riesgo asociado a cada evento peligroso describiendo la probabilidad de que se produzca y evaluando la gravedad de las consecuencias en caso de producirse. La bibliografía recomienda para la evaluación de riesgos el uso de metodologías cuantitativas o semicuantitativas (Davidson et al., 2005; World Health Organization, 2006; Bartram et al., 2009; Lindhe et al., 2011).

Con el fin de identificar los eventos peligrosos asociados al tratamiento de potabilización, se ha utilizado el método cualitativo del listado de basado en la revisión bibliográfica y las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de la USA (EPA) y la International Water Association (IWA). Posteriormente, la evaluación de los riesgos se ha utilizado la metodología de la matriz semicuatintativa de Deere et al. 2001.

Este método, el cual viene recomendado por la OMS para su aplicación en la realización de PSA, se basa en evaluar en una escala de 1 – 5 la probabilidad o frecuencia que se dé un evento peligroso y la gravedad de la consecuencia al darse dicho evento. En la Tabla 1 se observa la clasificación del riesgo según los valores obtenidos.

Tabla 1: Categorías de Riesgo por rangos.

Puntuación del riesgo en valor	Categoría del riesgo
01 - 05	Muy Bajo
06 - 10	Bajo
11 - 15	Medio
16 - 20	Alto
21 - 25	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 1, tras evaluar la frecuencia y la gravedad de un evento peligroso, se obtiene un valor entre 1 y 25 producto de multiplicar la frecuencia de un evento peligroso por su gravedad. Para facilitar su comprensión, se realiza una escala categórica del riesgo entre bajo y muy alto.

Aparte de determinar el método de evaluación del riesgo, es necesario definir el método para conseguir el consenso en la determinación y evaluación de riesgos. Para ello, se selecciona el método Delphi, el cual se define como una metodología que se caracteriza por la consulta de un grupo de expertos con el objetivo de llegar a un consenso sobre cualquier tema que involucre juicios subjetivos. Se basa en consultas secuenciales con el fin de buscar un consenso sobre cuestiones prioritarias mediante un procedimiento de votación sobre una selección de temas. El método Delphi se originó en una serie de estudios que la Corporación RAND llevó a cabo en la década de 1950 (Dalkey et al., 1963; Lindstone et al., 2002).

El proceso para la realización del Delphi es mediante una serie de rondas; en cada ronda, los participantes comunican sus opiniones a través de un cuestionario que se devuelve a los investigadores, que recopila, edita y devuelve a cada participante una declaración sobre la posición del panel y la posición del participante. El resumen de los juicios de expertos (en forma de evaluaciones cuantitativas y comentarios escritos) se proporciona como retroalimentación a los mismos expertos que partes de la siguiente ronda de cuestionarios.

En la literatura se encuentran muchos ejemplos en la identificación de riesgos en diversos campos como: el cambio climático (Adam-Poupart 2013) o el uso de tierras agrícolas (Jozi et al., 2014). En el ámbito de la gestión de recursos hídricos, el método Delphi se utiliza para identificar riesgos y riesgos de contaminación del agua relacionados con las actividades industriales (Kumar et al., 2016) o para instalar plantas de desalinización (Sepehr 2017).

Una vez identificados y evaluados los riesgos, hay que determinar los controles, y/o medidas correctoras/preventivas. Para ello, es necesario establecer un plan de monitoreo de control para evaluar la efectividad del indicador y asegurar el buen funcionamiento de la medida. Los objetivos del monitoreo de control son la vigilancia online de cada medida para permitir una eficaz gestión del sistema y garantizar que se alcanzan las metas de protección de la salud.

Los parámetros seleccionados para el monitoreo deben reflejar la eficacia de cada medida de control, proporcionar una indicación oportuna del funcionamiento, ser fácilmente mensurables y permitir que pueda adoptarse una respuesta adecuada. Siempre hay que tener en cuenta que todos los análisis que se vayan a realizar deben de ser sencillos y reproducibles (OMS, 2006; Bartram et al., 2009).

Estas medidas de control deben tener unos límites críticos, donde una vez superados, el agua no cumple todas las garantías de calidad y aumenta el riesgo para la salud pública de consumidor.

Por tanto, en cuanto se detecte que un indicador de control supera el valor crítico para un evento peligroso deben adoptarse medidas urgentes, y en función del nivel de peligro, puede ser necesario notificar de inmediato a la autoridad sanitaria local y aplicar la medida correctora pertinente.

4. Aplicación empírica

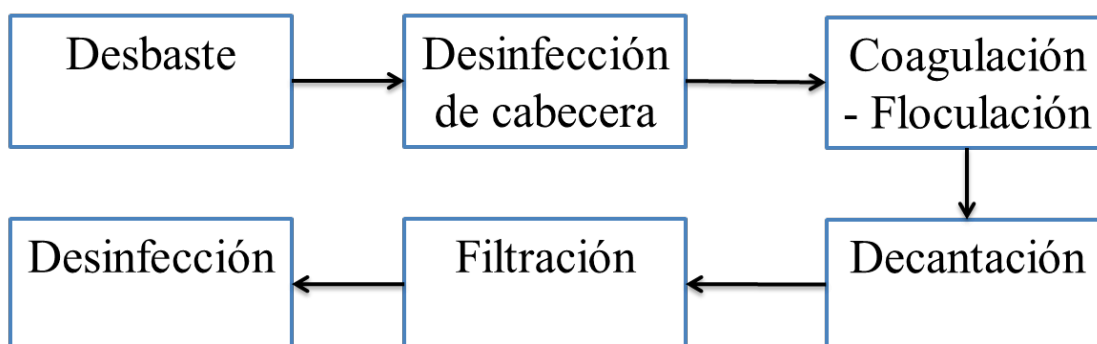
La zona de estudio para la implantación de un PSA es la ciudad de Valencia, la cual se encuentra situada a orillas del río Turia, en la costa este de la península ibérica, justo en el centro del golfo de Valencia.

Los datos necesarios para la investigación han sido facilitados por EMIVASA (Empresa Mixta Valenciana de Aguas Sociedad Anónima), la empresa explotadora de agua potable de la ciudad de Valencia y el Ciclo Integral del Agua del Ayuntamiento de Valencia

El abastecimiento de la ciudad procede de dos ETAPs. Una de ellas se puede abastecer del canal Júcar-Turia y/o del río Turia mientras que la segunda tiene una única línea de tratamiento y su fuente de suministro es el canal Júcar-Turia.

Ambas plantas presentan un esquema de tratamiento convencional típico de aguas superficiales tal y como se observa en la Figura 1.

Figura 1: Esquema de tratamiento de aguas para aguas superficiales. Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

El desbaste se realiza mediante una reja de gruesos, posteriormente con una de finos y un tamiz rotatorio (todos auto-limpiables).

A continuación, el agua es desinfectada mediante dióxido de cloro para eliminar la materia orgánica y la carga contaminante. Después, mediante el proceso de coagulación-floculación se prepara el agua para que, en la fase siguiente, la decantación, todas las partículas en suspensión queden eliminadas. La siguiente fase es la filtración, en la cual se eliminan todas las partículas y, por último, se realiza la desinfección final (con cloro o dióxido de cloro) con el fin de garantizar que el agua sea inocua para los usuarios. Destacar que los filtros son de carbón activo y que la ETAP “La Presa” tiene una etapa de desinfección posterior a la filtración mediante radiación ultravioleta.

Para implementar un PSA en una ETAP, el primer caso es definir el equipo multidisciplinario, el cual está formado por: ingenieros químicos, ingenieros industriales, químicos, farmacéuticos, biólogos y ambientólogos.

La primera tarea del equipo multidisciplinario fue, mediante el listado de variables anteriormente explicado, identificar los puntos de control en una ETAP en los cuales realizar en análisis de riesgo. Además, los panelistas en base a su experiencia profesional pudieron incluir riesgos en el listado. Para obtener un consenso en los riesgos que debían ser valorados, se utilizó el método Delphi.

La segunda tarea consistió en realizar un análisis y evaluación de riesgo para obtener como resultado final una ficha de riesgo para cada punto identificado. La preparación de estas fichas de riesgo es de suma importancia tanto desde el punto de vista de la calidad del agua como desde el punto de vista de la seguridad de las instalaciones ante posibles contaminaciones. Estas fichas de riesgo, aportarán información del punto de control, el posible evento a controlar, el peligro que supone, la gravedad de dicho evento y la probabilidad de que se produzca.

Cada panelista debía valorar la gravedad y la probabilidad de cada evento peligroso aplicando la matriz de Deere et al. 2001 explicada en el apartado anterior. De nuevo se utilizó el método Delphi para obtener un análisis de riesgo consensuado.

Una vez finalizadas las fichas de riesgo de cada punto de control, se realiza un plan de monitoreo. Para ello, en cada evento peligroso se identificó el indicador para poder controlar si está ocurriendo el evento en cuestión. Dicho plan de monitoreo se basa en el principio de prevención ya que se considera que es la manera más eficaz y mejor medida correctora de combatir los riesgos asociados al proceso de tratamiento de potabilización.

5. Resultados

Los puntos de control que se han seleccionado en el presente trabajo para la implantación de un PSA en una ETAP seleccionados por el grupo de implementación del PSA son: captación de agua bruta, salida de la etapa de decantación, salida de la etapa de filtración y salida de la etapa de desinfección. Estos puntos son independientes del punto de obligado cumplimiento regulado por el RD 140/2003. A continuación, se detallará la justificación de los puntos de control seleccionados.

Las captaciones de agua bruta precisan de un monitoreo continuo. Resultan de gran utilidad los medidores en continuo para dar una señal inmediata sobre la calidad del agua bruta, combinado con un análisis de laboratorio con una frecuencia máxima de una hora a modo de verificación de la señal de los medidores en continuo. Dada la importancia del agua bruta, el monitoreo no sólo se realiza en el punto de captación, sino que se seleccionan puntos aguas arriba que se monitorean para maximizar la eficacia del control. Es por esto que los PSA suponen un complemento medioambiental importante.

Los puntos de control de proceso en las operaciones de decantación, filtración y desinfección ayudan a optimizar y controlar el proceso. Para ello, mediante medidores en continuo junto a análisis diarios de los indicadores seleccionados ayudarán a un mayor control de proceso, mejorando la seguridad y eficiencia del tratamiento. De esta manera se consigue un rendimiento constante y seguro.

La coagulación es una etapa muy importante para determinar la eficiencia de eliminación de materia en suspensión, ya que afecta a la eficiencia de eliminación de partículas en la decantación y filtración, y a su vez afecta indirectamente a la eficiencia de la desinfección.

La etapa de filtración es de vital importancia ya que se trata de la última barrera física para la retención de partículas.

Por ello, no sólo es importante analizar el buen funcionamiento de los eventos peligrosos que son similares a la decantación, sino analizar los eventos exclusivos que se pueden dar en dicha etapa.

Un aspecto a considerar en todos los puntos de control y especialmente en la desinfección, es la actividad microbiológica. La aplicación de una concentración suficiente de desinfectante es un componente fundamental de la mayoría de los sistemas de tratamiento para lograr la reducción necesaria del riesgo microbiano.

Por ello, en cada etapa del proceso de potabilización se han analizado los distintos eventos peligrosos asociados a una proliferación de microorganismos debido a un mal funcionamiento de la etapa.

A continuación, se analizarán las fichas de riesgo de cada uno de los puntos de control anteriores.

El primer punto de control se observa en la Tabla 2. Este punto se está realizando actualmente en muchas ETAPs.

En este caso de estudio, la fuente de captación se trata de agua superficial.

Tabla 2: Ficha de riesgo de captación de agua bruta superficial.

Eventos	Peligros potenciales	Riesgo
Sequía	Aumento de la concentración de sales disueltas Variación de la composición química del agua	Medio
Insuficiente cantidad de agua para suministro	Escasez de suministro	Medio
Vertido: contaminación microbiológica	Aumento de la carga microbiológica del agua Presencia de microorganismos infecciosos	Muy Alto
Vertido: contaminación físico - química	Contaminación por metales, pesticidas, materia orgánica (excrementos animales ej: purines)	Alto
Lluvia contaminada con elementos inorgánicos	Turbidez, Aumento del Carbón orgánico total Aumento de la materia orgánica	Muy Bajo

Fuente: elaboración propia

Tal y como se observa en la Tabla 2 los principales riesgos asociados a la fuente de abastecimiento de agua de las ETAPs de Valencia son: sequías, vertidos y contaminación por lluvia. Los dos primeros se han analizado como eventos independientes por los distintos efectos que presentan lo que suponen riesgos diferentes. Las sequías producen efectos sobre la calidad y la cantidad del suministro y el peligro de cada uno de estos eventos es el mismo, pero los parámetros indicadores son distintos y, por tanto, las medidas correctoras y preventivas posteriores son diferentes.

El mayor peligro en una captación de agua superficial son los vertidos. Cuando se trata un vertido con contaminación físico-química, la detección es rápida pero la eliminación del peligro supone un cambio del tratamiento o simplemente no poderlo tratar. Sin embargo, cuando se trata de un vertido con contaminación microbiológica la detección es más lenta pero su eliminación es más rápida mediante un aumento de la desinfección en cabecera. Por último, destacar los efectos que tiene el clima en los abastecimientos: la insuficiencia para abastecer a los usuarios y los efectos que tiene la escasez de agua en la calidad del agua. Ambos eventos peligrosos tienen un riesgo medio debido al clima mediterráneo.

El siguiente punto es la salida de la etapa de decantación cuya ficha de riesgo se observa en la Tabla 3.

Tabla 3: Ficha de riesgo de salida de la etapa de decantación.

Eventos	Peligros potenciales	Riesgo
Mal funcionamiento del proceso de decantación	Aumento de la turbidez por presencia de partículas no eliminadas Presencia Cryptosporidium	Medio
Dosificación coagulante incorrecta	Aumento de: turbidez, color, materia orgánica, aluminio	Bajo
pH fuera de rango	Aumento de: turbidez, color, materia orgánica, aluminio, pH	Muy bajo
Dosificación incorrecta desinfectante	Aumento de: turbidez, microorganismos Presencia de: algas, microcistinas	Baja

Fuente: elaboración propia

De manera general, como se observa en la Tabla 3, los riesgos asociados a la etapa de decantación son medios o bajos.

Esto se debe a que se trata de una etapa intermedia, que en caso de mal funcionamiento aún tiene una etapa final (filtración) que permite solucionar el evento peligroso. Los eventos asociados son debidos a un mal funcionamiento del proceso de decantación y los asociados a una mala dosificación de los reactivos que son necesarios para mejorar la eficiencia de esta etapa, como son el pH y el coagulante. Por último, a final de cada etapa se realiza una desinfección residual con el fin de asegurar que no hay actividad microbiológica.

El penúltimo punto de control, salida de la etapa de filtración, se observa en la Tabla 4. Se trata de un punto de control crítico por tratarse la última barrera física dentro del tratamiento de potabilización es la filtración. Además, al tratarse de filtros de carbón activo granular también se produce la adsorción.

Tabla 4: Ficha de riesgo de salida de la etapa de filtración.

Eventos	Peligros potenciales	Riesgo
Mal funcionamiento etapa filtración	Aparición de Turbidez, Cryptosporidium, materia orgánica, aluminio	Alto
Dosificación coagulante incorrecta	Aumento de: turbidez, materia orgánica, aluminio, y TOC	Medio
Dosificación incorrecta desinfectante	Aumento de: turbidez, microorganismos y Presencia de: algas, microcistinas	Medio
Perforación de filtro: reintroducción de contaminantes	Aumento de: turbidez, materia orgánica, Carbón orgánico total, aluminio Presencia de: algas	Bajo
Desarrollo de patógenos en filtros	Microorganismos Algas	Medio
Presencia de patógenos resistentes al cloro	<i>Clostridium perfringens</i> , <i>Giardia</i> , <i>Cryptosporidium</i>	Alto

Como se observa en la Tabla 4 los eventos más peligrosos son el mal funcionamiento de los filtros y la presencia de microorganismos resistentes a la desinfección por cloro. Los eventos asociados a la adición de reactivos para mejorar la eficiencia de esta etapa y la desinfección de la misma, tienen un riesgo menor pero superior a los mismos eventos en la etapa anterior. Por último, un riesgo exclusivo de esta etapa es la perforación de los filtros, bien por generación de caminos preferenciales o bien por rotura del falso fondo. Este evento tiene un nivel de riesgo bajo ya que, en el correcto funcionamiento y vida del filtro, se incluyen los lavados del lecho según los ciclos de funcionamiento y la carga filtrante, y las operaciones de mantenimiento.

Por último, el último punto de control se trata de la desinfección. La ficha de riesgo de esta etapa se observa en la Tabla 5.

Tabla 5: Ficha de riesgo de salida de la etapa de desinfección.

Eventos	Peligros potenciales	Riesgo
Desinfección con cloro gas	Insuficiente cloro libre disponible	Bajo
	Formación excesiva de subproductos	Alto
Desinfección con dióxido de cloro	Insuficiente dióxido de cloro disponible	Medio
	Formación excesiva de subproductos	Bajo
Desinfección por radiación ultravioleta	Insuficiente irradiación UV	Bajo

Fuente: elaboración propia

La ficha de riesgo de la Tabla 5 presenta las 3 modalidades de desinfección que se pueden utilizar en las ETAPs de la ciudad de Valencia: cloro gas, dióxido de cloro y radiación ultravioleta. El principal riesgo asociado a la cloración mediante cloro gas es la formación de subproductos derivados de la cloración, como trihalometanos.

Para evitar su formación, se usa la desinfección con dióxido de cloro que se utiliza de manera combinada con cloro gas. Esto consigue que no se formen estos subproductos nocivos para la salud humana. El peligro mayor de dióxido de cloro es que se trata de un elemento explosivo con lo que se debe prestar especial atención a la mezcla de los reactivos. Por último, la desinfección por radiación ultravioleta presenta un nivel de riesgo bajo, ya que sólo se da en un mal funcionamiento del reactor ultravioleta o un fallo de mantenimiento.

Una vez identificados los puntos de control, los riesgos, los indicadores y realizada la valorización del riesgo, se procede a realizar el plan de monitoreo de control para poder prever los posibles riesgos y actuar en consecuencia. La base de este monitoreo es el principio de prevención como elemento corrector para prever los posibles eventos peligrosos. En base a las fichas de riesgo que se han obtenido, se debe preparar un plan de monitoreo en el que definir los puntos de control específicos, así como los parámetros a controlar, y la frecuencia de análisis de los mismos.

Resulta de vital importancia la prevención de riesgos y la necesidad de anticiparse a las posibles incidencias en el tratamiento. En este sentido, los PSA contemplan la preparación de un plan de monitoreo como acción preventiva. El monitoreo, junto con otras medidas correctoras, debe garantizar la calidad del agua que se distribuye. La evaluación periódica de los datos de monitoreo es un componente necesario de los PSA, ya que su examen interno o externo permite determinar si los controles son adecuados y si se cumplen para asegurar la calidad del agua producida.

La elección de un indicador, siempre responde a la necesidad de encontrar un parámetro que sea de fácil determinación o incluso que se pueda medir en continuo con unas garantías mínimas de precisión y exactitud en el análisis. De no existir esta posibilidad, la decisión se hará de manera que el parámetro analizado se vea afectado de forma similar al parámetro que se quiere controlar, aunque se esté midiendo un parámetro que en sí mismo no sea peligroso.

Los puntos identificados por el panel aportan información sobre el buen funcionamiento del proceso de potabilización del agua, y están especialmente enfocados a la salida de las etapas de decantación, filtración y desinfección. Además, permiten detectar rápidamente las anomalías en el tratamiento y poder subsanarlas lo más rápidamente posible. En la Tabla 6 se recogen los distintos puntos y los parámetros de control de cada uno de ellos.

Tabla 6: Parámetros de control

Punto: Agua Superficial	
Eventos	Parámetros de control
Sequía	Conductividad, Turbidez, Cianobacterias, Actinomicetos
Insuficiente cantidad de agua para suministro	Caudal, Turbidez
Vertido: contaminación microbiológica	Coliformes totales., <i>E. Coli</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Cryptosporidium</i>
Vertido: contaminación físico - química	Carbón orgánico total, Amonio, pH, Conductividad, Turbidez, Microcistinas, Triazinas
Lluvia contaminada con elementos inorgánicos	Carbón orgánico total, Turbidez
Punto: Decantación	
Eventos	Parámetros de control
Mal funcionamiento del proceso de decantación	Turbidez, Contaje de partículas
Dosificación coagulante incorrecta	Turbidez, Carbón orgánico total, Coagulante residual (Aluminio)
pH fuera de rango	pH
Dosificación incorrecta desinfectante	Turbidez, Recuento fitoplancton, Coliformes, <i>E. Coli</i>

Punto: Filtración	
Eventos	Parámetros de control
Mal funcionamiento etapa filtración	Turbidez, Contaje partículas, Coagulante residual (Aluminio), Coliformes totales, <i>E. Coli</i> , <i>Cryptosporidium</i>
Dosificación coagulante incorrecta	Contaje partículas, Carbón orgánico total
Dosificación incorrecta desinfectante	Turbidez, Recuento fitoplancton, Coliformes, <i>E. Coli</i> , <i>Cryptosporidium</i>
Perforación de filtro: reintroducción de contaminantes	Turbidez, Partículas
Desarrollo de patógenos en filtros	Bacterias heterótrofas, Coliformes tot. , <i>E. Coli</i>
Presencia de patógenos resistentes al cloro	<i>Clostridium perfringens</i> , <i>Giardia</i> , <i>Cryptosporidium</i>
Punto: Desinfección	
Eventos	Parámetros de control
Desinfección con cloro gas	Cloro libre residual, <i>E. Coli</i> , Coliformes totales
	Trihalometanos
Desinfección con dióxido de cloro	Dióxido de cloro residual, Cloro libre residual, <i>E. Coli</i> , Coliformes totales, <i>Cryptosporidium</i> , Trihalometanos
	Cloritos, Cloratos
Desinfección por radiación ultravioleta	<i>E. Coli</i> , Coliformes totales, <i>Cryptosporidium</i>

Fuente: elaboración propia

A continuación, se explicarán los parámetros físico-químicos más utilizados e importantes como parámetros de control indicados en la Tabla 6: el pH, la conductividad, turbidez, recuento de partículas, carbono orgánico total (COT), aluminio y desinfectante residual.

La elección del pH, responde a la necesidad de detectar posibles vertidos tanto ácidos como alcalinos, que se pueden producir por la presencia de cítricos, en las zonas agrícolas u otros vertidos similares. Esto es importante, ya que una disminución del pH afecta a los bicarbonatos, eliminando el “tampón natural” del agua, o podría disolver metales presentes en lodos por acumulación o en los materiales en contacto con el agua.

En cuanto a la conductividad, su determinación es muy sencilla y fiable con sondas en continuo y es un indicador del total de sales disueltas en el agua. Esto es de gran utilidad a la hora de determinar que el agua ha variado su composición de un momento determinado, independientemente de que este aumento sea debido a una sustancia peligrosa o no.

La turbidez es un buen indicador ya que implica arrastres de materia en suspensión que puede llevar asociado algún tipo de sustancia peligrosa, además de ser un parámetro que afecta de forma directa en la dosificación de coagulante que se realiza en la planta de tratamiento. Un parámetro relacionado es el recuento de partículas, que permite conocer el buen funcionamiento de los tratamientos de potabilización ya que la presencia de partículas es indicadora un mal funcionamiento. De la misma manera, aunque con un mayor tiempo de análisis, la determinación del Carbono Orgánico Total (COT), indica un aumento de la materia orgánica y presencia de actividad biológica y un mal funcionamiento de la etapa en la que se produzca la incidencia.

En cuanto al Aluminio residual procedente del proceso de coagulación/decantación, la OMS recomienda un valor límite de 0.2 mg/l, aunque es conocido que una estación de tratamiento en buen funcionamiento, debería conseguir una concentración de aluminio residual inferior a 0.05 mg/l. Su control es necesario como parámetro indicado por la legislación.

Por último, el desinfectante residual (cloro, dióxido de cloro) es un indicador importante, ya que una variación repentina del oxidante residual indica de la presencia de algún contaminante biológico que supondría un riesgo para la calidad del agua. Por otra parte, mantener un mínimo nivel de desinfectante residual en el agua, nos sirve para mantener la calidad microbiológica del agua.

Los indicadores microbiológicos seleccionados son los parámetros comúnmente utilizados en diversos ámbitos, como en la legislación vigente o como indicadores de calidad ambiental, de la actividad microbiológica del agua. La presencia o ausencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal, como *E. Coli* o los coliformes totales, son parámetros que actualmente se utilizan en la legislación vigente como indicadores. No obstante, existen agentes patógenos que son más resistentes a la desinfección con cloro que los indicadores utilizados con mayor frecuencia, como *Clostridium perfringens*, *Giardia* o *Cryptosporidium*, que presentan riesgos para la salud pública y por tanto deben monitorearse para evitar su presencia por el riesgo que generan.

Por tanto, la implantación de un PSA en el tratamiento de potabilización del agua ayuda, gracias al análisis de riesgos ayuda a la sistematización organizada y estructurada de la gestión con el objetivo de reducir los peligros y controlar el proceso para reducir los posibles fallos de gestión y de operación, mediante un monitoreo en los puntos de control. Además, el realizar el análisis de riesgo permite la priorización en la aplicación de medidas de control, por lo que se mejora la respuesta en caso de eventos peligrosos.

La implantación de un PSA facilita la comunicación entre todas las partes que intervienen en un abastecimiento. Los PSA ofrecen un nuevo sistema de gestión donde todas las partes interesadas en los abastecimientos de agua estén en continuo contacto: la empresa gestora, la administración local, la autoridad sanitaria y el usuario. Por ello, la implementación de un PSA mejora la transparencia del abastecimiento y aumenta la confianza en el servicio que se ofrece mediante una información continua de la calidad del agua suministrada.

Además, permite en caso de emergencia actuar con mayor velocidad y alertar más rápidamente, en caso de necesidad, a los consumidores. Además, de facilitar las inspecciones por parte de la autoridad sanitaria.

Por último, tal y como se ha indicado en la introducción, el monitoreo de aguas brutas unido a la comunicación entre administraciones que el modelo de gestión de los PSA propone presenta de manera indirecta un mayor control del buen estado de las aguas y eso se traduce en un mayor control ambiental de las masas de agua trabajando conjuntamente con las Confederaciones Hidrográficas.

6. Conclusiones

Los Planes de Seguridad del Agua (PSA) son la única metodología de gestión exclusiva para abastecimientos de agua. Sus principales ventajas son: la compatibilidad con la legislación vigente, su adaptabilidad, y su gestión dinámica, iterativa y práctica. Esta metodología de gestión fue desarrollada por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Su implantación responde a la necesidad que el usuario demanda: acceso a la información, cercanía, transparencia y un producto de calidad y sin riesgos para la salud.

El objetivo de la comunicación es la implantación de un PSA en una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) y destacar las principales ventajas de su implantación en la gestión de las mismas.

Para la implementación de un PSA, es necesario crear un equipo multidisciplinar encargado de desarrollar las etapas de implementación de un PSA. Las etapas más importantes para la implantación de un PSA son: la identificación y evaluación de riesgos, el plan de medidas correctoras y el monitoreo de control. Para la identificación de los riesgos y su evaluación se utilizará el método Delphi. En una ETAP, se considera que el principio de prevención es la mejor medida correctora. Por ello, el análisis desarrollado se centra en identificar los eventos peligrosos y sus indicadores.

La implementación de un PSA se va a desarrollar en las ETAPs que abastecen a la ciudad de Valencia. Los puntos de control seleccionados son: captación de aguas brutas, salida etapa de decantación, salida de etapa de filtración y salida de etapa de desinfección. En cada punto, se valoran los riesgos y especifican los parámetros indicadores que se deben controlar.

Las principales ventajas de la implementación de un PSA son: la reducción de los riesgos derivados del proceso de potabilización del agua, la mejora de la eficiencia del proceso, la correcta dosificación de reactivos, ahorro de costes gracias a la mejora de la eficiencia y dosificación correcta de reactivos, información continua al usuario que se traduce en cercanía y transparencia y de manera indirecta ayuda al buen control del estado de las aguas brutas ya que es el marco para trabajar junto a las Confederaciones Hidrográficas en el monitoreo de las masas de agua.

7. Referencias

- Adam-Poupart A., Labrèche F., Smargiassi A., Duguay P., Busque M.-A., Gagné C., Zayed J. 2013 "Climate change and occupational health and safety in a temperate climate: potential impacts and research priorities in Quebec, Canada". *Industrial Health*, 51(1), 68–78.
- Bartram, J., Corrales, L., Davinson, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., Stevens, M. 2009 "Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua". World Health Organization - International Water Association. Ginebra
- Dalkey N., Helmer O. 1963 "An experimental application of the Delphi method to the use of experts". *Management Science*, 9(3), 458–467.
- Davidson A., Howard G., Stevens M., Callan P., Fewtrell L., Deere D., Bartram, J. 2005 "WSP: Managing Drinking-Water Quality from Catchment to Consumer". *Water, Sanitation and Health Protection and the Human Environment*. World Health Organization, Geneva.
- Europe. Directive 2000/60/EC on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities of November
- Ganzer-Martí, M., Céspedes, R., Matía, L. 2008 "Planes de Seguridad del Agua: una apuesta segura". XXVIII Jornadas Técnicas de AEAS, 31–42.
- Ganzer-Martí, M., Martín-Alonso, J., Paraira-Faus, M., Matía, L. 2011 "Cambio estratégico en el control de la calidad del agua de consumo en Aguas de Barcelona". *Tecnología Del Agua*, 334(0187–8336), 66–70.
- Jozi, S., Ebadzadeh F. 2014 "Application of multi-criteria decision-making in land evaluation of agricultural land use". *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 42(2), 363–371.
- Kumar A., Datta M., Nema A. K., Singh R. K. 2016 "An improved rating system for assessing surface water contamination potential from MSW landfills". *Environmental Modeling and Assessment*, 21(4), 489–505.
- Lindhe A., Rose L., Norberg T., Bergstedt O., Pettersson, T. 2011 "Cost-effectiveness analysis of risk-reduction measures to reach water safety targets". *Water Research*, 45(1), 241–253
- Lindstone H., Turoff M. 2002 "The Delphi Method: Techniques and Applications". Addison-Wesley Educational Publishers, Massachusetts, USA.
- Matía, L., Paraira, M. 2004 "Evaluación de riesgos y control de puntos críticos en un abastecimiento". XXIV Jornadas Técnicas de La AEAS, 65–68.
- Matía, L., Paraira, M., Céspedes, R., & Ganzer, M. (2008). "Valoración y gestión de los riesgos sanitarios en el agua de consumo". *Tecnología Del Agua*, 301(0187–8336), 24–34.
- Palomero-González, J., Bernat Quesada, F., Soler Serena, P. (2017). "Environmental importance of water safety plans in water purification plants". 57th European Regional Science Association (ERSA) Conference "Social Progress for Resilient Regions", 29 August – 1 September, Groningen (Netherlands)
- Sepehr M. 2017 "Application of Delphi method in site selection of desalination plants". *Global Journal of Environmental Science and Management (GJESM)*, 3, 89–102.
- World Health Organization. 2006 "Guías para la calidad del agua potable. Primer Apéndice a la Tercera Edición". World Health Organization (Vol. 1). Genève (Suiza)