



## Acto de inauguración por la Presidenta de la Exma. Diputación de Alicante, Dña. Luisa Pastor

Es una satisfacción para nuestra Provincia ser punto de encuentro de los diversos países mediterráneos. Históricamente lo ha sido y hoy vuelve a serlo para debatir sobre uno de los aspectos del Ciclo Hídrico, precisamente sobre el recurso natural más importante para nuestra tierra y condicionante de su desarrollo.

La escasez de agua es una característica del sureste peninsular. Las consecuencias de esta escasez se reflejan especialmente en las áreas costeras, donde se concentran las demandas de agua.

La provincia de Alicante es un buen ejemplo de este hecho. Así, el déficit hídrico provincial se concentra en las áreas costeras meridionales; en la Vega Baja, en el Bajo Vinalopó y en L'Alacantí, donde se sitúan los acuíferos con menores recursos y aguas salinizadas por la intrusión marina y por las prácticas agrícolas intensivas y las mayores demandas de agua. Este déficit se contagia a las comarcas del Medio y Alto Vinalopó por la aportación de agua de sus acuíferos a la zona costera.

Las comarcas costeras de Las Marinas no sufren esta situación. En la Baja, por la excelente gestión de sus recursos hídricos, mas abundantes que en las comarcas meridionales. La Alta, que aunque no presenta problemas respecto a la garantía de suministro, constituye una paradoja hídrica ya que, existiendo importantes recursos no regulados, presenta la mayor concentración de plantas de tratamiento de agua salobre y marina para abastecimiento municipal en la zona costera.

Para paliar el déficit hídrico provincial el Gobierno de la Nación planteó en el año 2004 el Plan Agua que prevé varias desaladoras de agua de mar en la Provincia. Como Vds. conocen, la Diputación de Alicante siempre se ha opuesto a considerar los planes de desalación como la solución única al déficit hídrico provincial por su elevado coste de explotación, insostenible para la agricultura, amén de otros inconvenientes ambientales, proponiendo como alternativa el trasvase de agua de cuencas excedentarias.

Por todo esto, tanto el Congreso como el Simposio asociado que hoy inauguramos, resulta del mayor interés para esta Provincia y para la Institución que la representa; en cuanto a la intrusión marina por ser un fenómeno que afecta a varios de nuestros acuíferos y respecto a la desalación, por constituir una tecnología cuya aplicación indiscriminada resulta polémica, controversia que nos afecta muy significativamente.

Esperamos que este Congreso contribuya a arrojar luz y soluciones al problema, que no es otro que el futuro del desarrollo de las áreas costeras en las zonas áridas y semiáridas.

Como actividades complementarias al Congreso hemos organizado dos cursos, en colaboración con la Universidad de Alicante, para formar a los estudiantes y



profesionales en las técnicas de caracterización, evaluación y gestión de acuíferos costeros.

Asimismo, somos anfitriones de la reunión de los miembros del Proyecto Unesco MedPartnership, donde se presentarán los resultados de proyectos relativos a la intrusión marina desarrollados en cinco países mediterráneos.

También, presentamos la edición del manual de la aplicación “*Simulación de la intrusión marina en acuíferos*”, especialmente dirigida a los técnicos de los países en vías de desarrollo y a los universitarios, desarrollada conjuntamente con el IGME, organismo con el que nos une una larga trayectoria, de más de 30 años, con cuya colaboración hemos logrado implantar en la Provincia una extensa red de captación de datos hidrológicos y un sofisticado sistema propio de gestión de la información capturada que incluye los puntos de control de la intrusión marina.

Como representante de la Provincia de Alicante quiero dar la bienvenida a los congresistas. Espero que, además de incrementar los conocimientos acerca del agua y su gestión, disfrutéis de los valores de nuestra Provincia y que volváis a visitarnos. Siempre seréis bienvenidos.

Alicante, 24 de abril de 2012



## Acto de inauguración. Intervención de la Directora del Instituto Geológico y Minero de España, Dña. Rosa de Vidania Muñoz.

Han pasado casi un cuarto de siglo, cuando en 1988 se tomó la iniciativa por parte del Instituto Geológico y Minero de España, de celebrar el primer Congreso Internacional sobre Tecnología de la Intrusión de Agua de mar en Acuíferos costero (TIAC), en colaboración con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. La intención era crear un foro de debate entre los diferentes especialistas que tanto en el ámbito nacional como internacional dedicaban parte de su trabajo a investigar sobre este fenómeno.

El interés de estos acuíferos costeros y el por qué de su estudio responde a que:

- Estos acuíferos se encuentran representados en muchas partes del mundo, y particularmente tenemos importantes ejemplos en el mediterráneo: España, Francia, Italia, Eslovenia, Malta, Croacia, Grecia y Turquía, donde se han identificado más de 60 acuíferos kársticos.
- Importancia estratégica como fuente inmediata y a veces única de suministro de agua para atender las demandas urbanas y agrícolas. La población en los estados ribereños es muy importante y con gran tendencia al crecimiento, atraída por la benigna climatología y por las buenas condiciones de productividad y rentabilidad económica de su agricultura. En el caso de la población, basta acudir a las estadísticas para ver que era en 1960 de 246 millones, de 380 millones en 1990, superando en los primeros años siglo XXI los 450 millones; y el Plan Azul prevé que esta cifra aumentará a más de 500 millones en el año 2030 y a más de 600 millones en 2050 y 700 millones a finales del siglo XXI.
- Una consecuencia inmediata del desarrollo demográfico y económico es la necesidad de disponer de recursos hídricos en cuantía y calidad acordes con las exigencias requeridas para cada uso. Estos asentamientos han hecho que la importancia del aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos de estas zonas, sea creciente
- En estos acuíferos, son numerosas las zonas húmedas, aigualmols y ullals situados en ellos, cuya génesis y mantenimiento se deben a esta agua. Por ponernos en el caso de España y más concretamente en la Comunidad valenciana son muchos los ejemplos, así podemos recordar zonas tan emblemáticas como el marjal de Peñíscola, el Prat de Cabanes, la Albufera de Valencia, el majal de Oliva-Pego, las salinas de Santa Pola, el Hondo de Elche, las lagunas de la Mata y Torrevieja o las Salinas de Santa Pola, entre otras muchas.

Para mantener esos usos y su sostenibilidad ambiental ha sido necesario realizar una adecuada gestión, lo que ha necesitado disponer de un conocimiento adecuado de estos acuíferos.



Esa necesidad de conocer, ha sido objetivo de los investigadores de todo el mundo. De esta tendencia no ha sido ajeno el IGME, lo que ha hecho que se venga trabajando en el estudio de estos acuíferos al menos desde las últimas tres décadas, a través de una línea que contempla las investigaciones dirigidas a la protección y conservación de los acuíferos y entre ellos, y especialmente los relacionados con el deterioro de la composición natural de las aguas subterráneas por intrusión de agua de mar como consecuencia de actividades no planificadas adecuadamente.

Ese conocimiento se inicio con los estudios de caracterización, dirigidos a determinar la situación de la intrusión de agua de mar, definiendo la interfase salina y su situación. Posteriormente estos estudios básicos, al igual que en otros países, se ha iniciado trabajos más específicos con medios científicos y tecnológicos más avanzados.

Con respecto a la caracterización de la situación de la intrusión en esos acuíferos, como se indicaba, se han realizado estudios que han permitido determinando el volumen de agua contaminada, así como su penetración desde el litoral, a partir de modelo geológico e hidrogeológico, sondeos mecánicos, técnicas geofísicas e hidroquímicas. Estos trabajos han sido motivo de múltiples publicaciones en revistas y actas de congresos. De esas publicaciones se puede extraer algunos datos que reflejan su importancia y el estado de la intrusión en estos acuíferos.

- A lo largo del litoral (casi 8.000 km), hay un total de 95 unidades hidrogeológicas (en general asimilable a las masas de agua subterráneas), lo que supone el 25 % del total de las definidas en España (considerando en Canarias cada isla como una ellas): 72 de ellas corresponden al litoral mediterráneo (49 en la Península y 23 en las Islas Baleares). Siendo el archipiélago de Baleares el que tiene un mayor número de unidades costeras definidas (23), seguido de la cuenca hidrográfica del Sur con 19 y de las cuencas internas de Cataluña con 13.
- En cuanto a la superficie ocupada por estas unidades la mayor es la cuenca del Júcar con 5.286 km<sup>2</sup>, seguida de la Norte con 5.230 km<sup>2</sup> y Mediterránea 5.224 km<sup>2</sup>, además de Canarias donde se ha considerado la superficie total de las islas.
- Los principales problemas se localizan a lo largo de la costa mediterránea, junto con las Islas Baleares. Estas áreas suman una longitud de costa de aproximadamente 2.583 km, el 42% del total de costa española, distribuidos en cinco Comunidades Autónomas: Andalucía, Murcia, Comunidad Valenciana, Cataluña e Islas Baleares. Cataluña y Baleares presentan el mayor número de unidades con intrusión general, 6 y 4 respectivamente, seguidas en grado de afección por las cuencas del Júcar y Canarias con predominio de la intrusión zonal. En el extremo opuesto la cuenca Norte no presenta salinización conocida en ninguna unidad.



Cuenca	Nº UUHH costeras	Sin intrusión	Intrusión Local	Intrusión Zonal	Intrusión. General
Norte	10	10	0	0	0
Guadiana	1	0	0	1	0
Guadalquivir	5	2	0	2	1
Sur	19	9	4	4	2
Segura	6	2	2	1	1
Júcar	10	0	1	7	2
Ebro	1	0	0	1	0
Cataluña	13	2	4	1	6
Baleares	23	14	0	5	4
Canarias	7	0	0	7	0
Total	95	39	11	29	16

**Tabla 1.** Grado de intrusión en Unidades Hidrogeológicas costeras

- De los citados acuíferos se extraían por bombeo, sin incluir el archipiélago canario,  $1.800 \text{ hm}^3/\text{año}$  que se destinan al riego agrícola de más de 250.000 ha y al abastecimiento doméstico de aproximadamente 5 millones de habitantes.
- Estas cifras reflejan por sí solas la importancia estratégica y el grado de aprovechamiento de las aguas de los acuíferos costeros, sin embargo, su relevancia queda aún más patente si se contrastan esos datos con los de ámbito nacional: más del 20 por ciento de la superficie agrícola regada (900 mil hectáreas) el 30 por ciento de la población abastecida (12 millones de habitantes) el 35 por ciento del volumen captado con obras subterráneas ( $5.500 \text{ hm}^3/\text{año}$ ).
- La superficie aflorante permeable ocupada por esos acuíferos, superan los  $17.900 \text{ km}^2$  ( $167.224 \text{ km}^2$  total península e islas Baleares), con una recarga de  $2.829 \text{ hm}^3/\text{año}$  ( $19.663 \text{ hm}^3$  total, excepto Canarias), con unas extracciones por bombeo de unos  $1.700 \text{ hm}^3/\text{año}$ , frente a los  $4.972 \text{ hm}^3/\text{año}$  totales.

Conocida la situación, el perfeccionamiento del conocimiento de esos acuíferos, ha hecho que se realicen estudios más de tallado, que como se comentaba se ha implementen métodos y técnicas más avanzadas, algunas ya conocidas pero que se ha mejorado o otras de mayor reciente actualidad. Nos vamos a fijar en algunas de ellas como:

- Las técnicas geofísicas constituyen una valiosa ayuda en el estudio de la intrusión salina, especialmente en la mejora de la geometría de la interfase salina y su situación espacial. Se está produciendo una gran evolución en el desarrollo de los métodos eléctricos tradicionalmente empleados, empleando configuraciones que permiten obtener modelos en 2D y 3D. La aparición de nuevos métodos sensibles a la presencia directa de agua, como los Sondeos de Resonancia Magnética, cuando pueden ser aplicados, ayudan a discriminar en los acuíferos costeros zonas de materiales conductores de zonas de intrusión salina. Igualmente, la tendencia a la realización de campañas 4D (a lo largo del tiempo), tanto en superficie como en pozo, están permitiendo la monitorización de los acuíferos, proporcionando un conocimiento de su comportamiento en



diferentes periodos y condiciones, y aportando valiosa información para su control y gestión.

- De entre los diferentes parámetros que permiten definir los recursos hídricos de estos acuíferos, existe una gran incertidumbre en cuanto a conocer y cuantificar las salidas subterráneas de esta agua al mar. Por eso la localización y cuantificación de las descargas de agua subterránea al mar es un punto de fijación de los investigadores y de atención por parte de los gestores o administradores de estos recursos. Una metodología basada en la combinación de diversas técnicas permite ubicar los puntos de descarga y estimar su volumen global. Así, la localización de las descargas se lleva a cabo mediante el tratamiento de imágenes del infrarrojo térmico, captadas mediante sensores aeroportados, la identificación de anomalías físico-químicas en el agua del mar, a través del registro de parámetros desde buques oceanográficos, y mediante la concentración de  $^{222}\text{Rn}$ . La cuantificación de estas descargas se puede evaluar por medidas directas, estableciendo el balance hídrico y a través de la concentración de los isótopos del Ra.
- Los avances en la caracterización y en el estudio de los procesos físico-químicos que se producen en la cuña salina y en la interfase, aportan mucha información y por tanto ayuda a la hora de su gestión. En esta línea, en los últimos décadas y años se han desarrollado herramientas muy potentes, como hidrogeoquímica o el análisis de isótopos.

Mediante reacciones hidroquímicas, como intercambio iónico se pueden detectar procesos de intrusión y de lavado. Por ejemplo aguas de  $\text{CaCl}_2$  indican intrusión marina en un estado muy inicial, y aguas  $\text{NaHCO}_3$  indican el lavado de acuíferos con aguas dulces. Otro proceso de importancia es la corrosión de carbonatos por mezcla de aguas del mar con aguas dulces por sus diferencias en la presión parcial de  $\text{CO}_2$ , dando lugar a la formación de muchas cuevas costeras alrededor del mediterráneo. El entendimiento de su efecto en los cambios de la porosidad y su implementación en del flujo de densidades variables y en los modelos, es uno de los objetos actuales de investigación.

El avance en las técnicas de análisis de isótopos da lugar a varias herramientas muy eficaces en detectar el origen de salinidad en las aguas. Destaca el uso combinado de isótopos estables del agua, Boro y sulfatos y estroncio en identificar el origen y determinar porcentajes de mezcla. Los isótopos de  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}/^3\text{He}$  y las sustancias de CFC junto con los avances en la analítica permiten determinar la edad de la intrusión. Con respecto a los modelos una parte de la investigación actual se centra en la implementación de los procesos hidroquímicos en la simulación del flujo de densidades variables, por ejemplo mediante el programa SEAWAT, recordar que por su interés se celebra en este Congreso un curso especial impartido por Schlumberge, combinado ese modelo con PHREEQC. Otros puntos de interés actual en el desarrollo de herramientas numéricas son la difusión multicomponente y la implementación de algoritmos



más sofisticados en el cálculo de las densidades, considerando la distribución de las especies disueltas en el agua.

Complementariamente a esas herramientas y como medio más directo para realizar una adecuada gestión de estos acuíferos, hay que resaltar, dos instrumentos los modelos matemáticos, ya en una línea más avanzada donde se tiene en cuenta el trasporta de masa y los indicadores o índices, que deben contribuir de forma sencilla a determinar el estado de la intrusión y su evolución temporal:

- Para describir y analizar el funcionamiento detallado de un acuífero costero se cuenta con una herramienta muy potente en la aplicación de los modelos matemáticos, y en particular de los modelos de flujo con densidad variable. La propia naturaleza del fenómeno de intrusión, en el que la diferente densidad del agua dulce y salada influye en su movimiento a través del acuífero, así como la interacción de ambas fases acuosas entre sí y con la formación geológica que las contiene, hace que para simular de una forma detallada y más aproximada a la realidad este fenómeno, sea necesario recurrir a estos modelos de densidad variable. La capacidad y rapidez de los ordenadores actuales hace que sea viable el desarrollo de estos modelos, de difícil aplicación antiguamente por las limitaciones tecnológicas. Cuando se dispone de la información necesaria para su elaboración como la piezometría, salinidad y parámetros hidrodinámicos del acuífero, este tipo de modelos de densidad variable constituye la herramienta que mejor puede describir el funcionamiento de los acuíferos costeros y el desarrollo de la intrusión marina en ellos
- El uso de indicadores de intrusión puede ser una herramienta útil de apoyo a la gestión de acuíferos costeros que permita el control y vigilancia de los mismos, así como el establecimiento de mecanismos de alerta basados en ellos. Sobre estos indicadores se está trabajando por diferentes grupos de investigación, entre ellos el IGME, en el marco del acuerdo con el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, ha elaborado un índice SITE, cuyas letras corresponden a cada parámetro hidrogeológico utilizado. Sin entrar en detallar mucho lo que debe ser un índice, si avanzar que este tener utilidad práctica y reflejar de manera sencilla las principales características del proceso de intrusión. La información proporcionada por el índice debe ser amplia, inequívoca, descriptora y discriminatoria, que ofrezca información cuantitativa y cualitativa sobre la afección espacial, la intensidad del proceso, la temporalidad y la probable evolución a medio o largo plazo. Que se elabore con datos sencillos y habitualmente disponibles, como pueden ser los proporcionados por las redes de control, tanto datos piezométricos (redes piezométricas) como de concentración de cloruros (redes de intrusión marina). Se pretende con esto que el índice sea de aplicación universal, es decir, que pueda aplicarse en cualquier acuífero costero en el que sólo se tengan datos básicos.

Por último felicitar a los organizadores, y que sea muy provechosa su participación en este eventos.

Alicante, 24 de abril de 2012